

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO PAULO
CAMPUS BAIXADA SANTISTA
BACHARELADO EM ENGENHARIA AMBIENTAL

MATEUS SEIXAS DE MELO FRIGERIO PAULO
RAPHAEL PEREIRA ADAN

**Movimentações de massa ocorridas em Guarujá/SP no mês de
março de 2020**

SANTOS
2021

MATEUS SEIXAS DE MELO FRIGERIO PAULO

RAPHAEL PEREIRA ADAN

**Movimentações de massa ocorridas em Guarujá/SP no mês de
março de 2020**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado à Universidade Federal de São
Paulo (UNIFESP) como parte dos requisitos
para conclusão do curso de graduação em
Engenharia Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo José Torres

Coorientador: Prof. Cleiton Jordão Santos

SANTOS

2021

Autorizo, exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta monografia, por processos fotocopiadores e outros meios eletrônicos.

Paulo, Mateus Seixas de Melo Frigerio. Adan, Raphael Pereira.
Movimentações de massa ocorridas em Guarujá/SP no mês
de março de 2020. -- Santos, 2021.
63 f : il. color; 30 cm.

TCC (Graduação - Engenharia Ambiental) --
Instituto do Mar, Universidade Federal de São Paulo, 2021.

Orientador: Prof. Dr. Ronaldo José Torres
Coorientador: Prof. Cleiton Jordão Santos

1. Movimento de massa. 2. Deslizamentos. 3. Chuvas. 4. Obra de
retenção. 5. Guarujá.

AGRADECIMENTOS

A Universidade Federal de São Paulo pelo compromisso e empenho em produzir e disseminar conhecimento;

A Prefeitura Municipal de Guarujá pelo apoio prestado na execução deste trabalho;

Ao orientador Ronaldo José Torres e ao coorientador Cleiton Jordão Santos pelo auxílio dado no escopo deste trabalho;

Aos amigos e familiares pelo amor compartilhado nesta jornada.

*“É pau, é pedra, é o fim do caminho
É um resto de toco, é um pouco sozinho
É um caco de vidro, é a vida, é o Sol
É a noite, é a morte, é o laço, é o anzol
[...]
É a lenha, é o dia, é o fim da picada
É a garrafa de cana, o estilhaço na estrada
É o projeto da casa, é o corpo na cama
É o carro enguiçado, é a lama, é a lama
É um passo, é uma ponte, é um sapo, é uma rã
É um resto de mato, na luz da manhã
São as águas de março fechando o verão
[...]”*

(Antônio Carlos Jobim)

RESUMO

Movimentos gravitacionais de massa ocorrem com frequência no Brasil e são deflagrados por condicionantes físicas, naturais e antrópicas. O presente trabalho visa caracterizar as movimentações de massa que ocorreram após as intensas chuvas que atingiram a cidade de Guarujá/SP entre os dias 02 e 03 do mês de março do ano de 2020 e levaram as autoridades municipais a declararem Estado de Calamidade Pública, com ênfase em uma das regiões mais afetadas, chamada de Jardim Bela Vista e conhecida por Morro do Macaco Molhado, ao qual ao poder público de Guarujá foram repassados cerca de R\$ 25 milhões de reais, pelo Governo do Estado de São Paulo, para efetuação de uma obra de contenção com vistas a recuperação e a prevenção do local ante a possibilidade de ocorrências similares no futuro. A presente monografia desenvolve-se por meio de uma abordagem exploratória e descritiva, com enfoque nos conceitos, desdobramentos e intervenções relativos aos movimentos de massa, e a sua correlação com as chuvas e interferências antrópicas, utilizando-se como recorte da pesquisa um estudo de caso referente às movimentações de massa ocorridas no município de Guarujá no mês de março de 2020. Para o estudo de caso, caracterizou-se a área do município e discorreu-se sobre os movimentos de massa já ocorridos. Em seguida, propôs-se caracterizar a área do Jardim Bela Vista e os movimentos de massa observados, bem como descrever a obra de contenção efetuada na área, frente às intervenções possíveis em casos de deslizamentos. Por meio da análise de dados do estudo de caso e dos documentos consultados, conclui-se que o evento pluviométrico associado às condições antrópicas observadas ensejou a deflagração dos movimentos de massa no Jardim Bela Vista, caracterizados por deslizamentos, queda de blocos e deslocamento rochoso, conforme o relatório da Defesa Civil de Guarujá. A intervenção estrutural efetuada utilizou métodos de impermeabilização, fixação e estabilização do solo e de sistema de drenagem pluvial.

Palavras-chave: movimento de massa; deslizamentos; chuvas; obra de contenção; Guarujá.

ABSTRACT

Mass wasting occurs frequently in Brazil and is triggered by physical, natural and anthropic conditions. This paper aims to characterize the mass wastings occurred after the intense rains that hit the city of Guarujá/SP between march 2nd and 3rd of the year 2020, which led municipal authorities to declare State of Public Calamity, with emphasis on one of the most affected areas, called Jardim Bela Vista also known as Morro do Macaco Molhado, where the municipality of Guarujá invested an estimated R\$ 25 million, passed on by São Paulo's State government to execute a soil containment work that aims for the recovery and prevention of the area, in view of the possibility of similar occurrences in the future. This monograph is developed through an exploratory and descriptive approach, focusing on concepts, unfoldings and interventions related to mass wastings and their correlation with rainfall and anthropic interference, with a case study that approaches the mass wastings occurred in Guarujá's territory in march 2020. The case study proposes to characterize the area of Guarujá and to discuss the mass wastings occurred there. Subsequently, the Jardim Bela Vista area and the mass wastings that occurred there were characterized and the soil containment works carried out there were described, in view of the possible interventions in cases of landslides. Through the analysis of case study data and the documents consulted, it was concluded that the rainfall events associated with the observed anthropic conditions caused the mass wastings, characterized by landslides, rockfalls and block slides in Jardim Bela Vista, according to the Guarujá Civil Defense report. The structural intervention consisted in the application of waterproofing, soil fixation and stabilization methods as well as rain drainage systems.

Keywords: mass wasting; landslides; rain; containment work; Guarujá.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURAS

Figura 01 -	Deslizamento Planar.....	21
Figura 02 -	Corrida de detritos.....	21
Figura 03 -	Figura esquemática dos tipos de deslizamentos ou escorregamentos.....	22
Figura 04 -	Município de Guarujá, na zona litorânea do Estado de São Paulo.....	30
Figura 05 -	Detalhe da região do Guarujá no mapa pedológico do Estado de São Paulo.....	33
Figura 06 -	Imagem de Guarujá com pontos que destacam os movimentos de massa ocorridos em março/2020.....	38
Figura 07 -	Delimitação aproximada do Jardim Bela Vista, Guarujá/SP.....	39
Figura 08 -	Carta Geotécnica ampliada de Guarujá/SP.....	41
Figura 09 -	Setores de risco do Jardim Bela Vista - Guarujá/SP.....	44
Figura 10 -	Suscetibilidade a deslizamentos e delimitação do Jardim Bela Vista - Guarujá/SP.....	45
Figura 11 -	Comparação de imagens do local após e antes das movimentações de massa.....	47
Figura 12 -	Comparação de imagens do local após e antes das movimentações de massa.....	47
Figura 13 -	Representação esquemática do escorregamento principal, apontando o sentido de movimento do material mobilizado.....	48
Figura 14 -	Imagem área do principal deslizamento ocorrido no Jardim Bela Vista, com destaque para a Fenda de Tração (A) e para um possível fragmento afetado no caso de rompimento do talude (B).....	49
Figura 15 -	Risco e vulnerabilidade às mudanças climáticas das grandes cidades da América Latina.....	54
Figura 16 -	Densidade dos deslizamentos ocorridos no evento no dia 02 de março de 2020 em Guarujá/SP.....	55
Figura 17 -	Delimitação do local onde foi feita a obra de contenção.....	57
Figura 18 -	Recorte de notícia do Diário Oficial de Guarujá sobre o andamento da obra de contenção no Jardim Bela Vista.....	58
Figura 19 -	Imagem aérea da obra de contenção concluída no Jardim Bela Vista.....	59

GRÁFICOS

Gráfico 01 -	Histórico de escorregamentos em Guarujá/SP por área de risco.....	37
Gráfico 02 -	Dados obtidos a partir de estações pluviométricas do CEMADEN.....	51
Gráfico 03 -	Curva de variação do CCM.	52
Gráfico 04 -	Variação da umidade no solo entre o período de 01 de janeiro de 2020 a 11 de março de 2020 (dados obtidos pela estação geotécnica do CEMADEN).	52
Gráfico 05 -	Variação do teor de umidade no solo durante um período de 24h (dados obtidos pela estação geotécnica do CEMADEN).....	53

QUADROS

Quadro 01 -	Principais tipos de movimentos de massa em encostas no Brasil.....	20
Quadro 02 -	Fatores de deflagração dos movimentos de massa conforme Varnes (1978).....	23
Quadro 03 -	Agentes condicionantes dos deslizamentos.....	24
Quadro 04 -	Natureza e principais tipos de medidas estruturais e não-estruturais utilizadas para a prevenção e mitigação de deslizamentos.....	27
Quadro 05 -	Tipos de medidas estruturais para a prevenção e controle de movimentos de massa.....	28
Quadro 06 -	Tipologia de intervenções estruturais voltadas à redução de riscos associadas a movimentos de massa em encostas ocupadas.....	29
Quadro 07 -	Critérios utilizados para determinação dos graus de probabilidade de ocorrência de processos de instabilização do tipo deslizamentos em encostas ocupadas e solapamento de margens de córregos.....	43

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CBH-BS	Comitê de Bacia Hidrográfica da Baixada Santista
CCM	Coeficiente de Ciclo Móvel
CEMADEN	Centro de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais
COMPDEC	Coordenadoria Municipal de Proteção e Defesa Civil
CPC	Coeficiente de Precipitação Crítica
DAEE	Departamento de Água e Energia Elétrica
DHP	Dreno Horizontal Profundo
ECP	Estado de Calamidade Pública
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDEA-SP	Infraestrutura de Dados Espaciais do Estado de São Paulo
IG	Instituto Geológico
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
Jd.	Jardim
MMA	Ministério do Meio Ambiente
NUPDEC	Formação de Núcleos Comunitários de Prevenção e Defesa Civil
PBMC	Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas
PCD	Plataforma de Coleta de Dados
PMMC	Plano Municipal de Mudanças Climáticas
PMRR	Plano Municipal de Redução de Risco
PNA	Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima
PNPDEC	Política Nacional de Proteção e Defesa Civil
PPDC	Plano Preventivo de Defesa Civil
PR	Estado do Paraná
REDEMET	Radar Meteorológico
RMBS	Região Metropolitana da Baixada Santista
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SC	Estado de Santa Catarina
SEADE	Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados
séc. XX	Século 20

SEMAM-Guarujá	Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Guarujá
SIRGAS	Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
SP	Estado de São Paulo
UTM	Universal Transversa de Mercator
WGS 84	World Geodetic System
ZBD	Zona de Baixa Densidade
ZMVC	Zona Mista - Vicente de Carvalho

LISTA DE SÍMBOLOS

mm	Milímetros
cm/ano	Centímetro por ano
m/h	Metro por hora
m/s	Metro por segundo
m	Metros
23° 59' 18" S	Latitude: 23 graus, 59 minutos, 18 segundos ao sul
46° 14' 32" W	Longitude: 46 graus, 14 minutos, 32 segundos ao oeste
km ²	Quilômetro quadrado
hab/km ²	Habitantes por quilômetro quadrado
h	Horas
m ³	Metros cúbicos
mm/h	Milímetros por hora

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 OBJETIVOS	16
2.1 Objetivo geral	16
2.2 Objetivos específicos	16
3 METODOLOGIA	17
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA: MOVIMENTO DE MASSA	18
5 ÁREA DE ESTUDO	30
5.1 Caracterização da área	30
5.1.1 Meio físico	31
5.1.1.1 Considerações geológicas, geomorfológicas e pedológicas	31
5.1.1.2 Clima e pluviosidade	33
5.1.2 Ocupação urbana e uso do solo	34
5.2 Movimentos de massa ocorridos em guarujá	35
6 ESTUDO DE CASO: JARDIM BELA VISTA	39
6.1 Localização e contexto	39
6.1.1 Plano Municipal de Redução de Riscos	39
6.1.1.1 Aspectos ocupacionais	40
6.1.1.2 Contexto geológico	41
6.1.1.3 Critérios de classificação de risco	42
6.1.1.4 Setores de risco e suscetibilidade a deslizamentos	43
6.3 Caracterização dos movimentos de massa no Jardim Bela Vista	45
6.3.1 Causa	49
6.3.1.1 Índice Pluviométrico	50
6.3.1.2 Mudanças climáticas	52
6.3.2 Consequências	54
6.4 Intervenções	55
6.4.1 A obra de contenção efetivada no Jardim Bela Vista	55
7 CONCLUSÃO	59
REFERÊNCIAS	60

1 INTRODUÇÃO

Movimentos de massa ocorrem com frequência, afetam diversas cidades brasileiras e são compreendidos como o desprendimento e transporte de solo e/ou material rochoso e orgânico em encostas, podendo estar relacionados a fenômenos naturais e/ou por decorrência de influências antrópicas em regiões de encosta (HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008).

Dentre as principais causas desencadeadoras dos movimentos de massa nas cidades brasileiras estão as chuvas, a retirada da cobertura vegetal, os fatores geomorfológicos, geológicos-geotécnicos, hidrológico-climáticos e pedológicos, a presença de ocupações habitacionais precárias em regiões de encosta, a deposição de lixo em encostas e a ausência de drenagem de águas pluviais e coleta de esgoto adequado (AMARAL, 2018).

As chuvas representam um dos principais fatores responsáveis por ocasionar movimentações de massa, sendo o principal fator não antrópico em regiões de clima tropical. A prevenção e o monitoramento, embora não possuam o condão de evitar os fenômenos naturais, podem colaborar na redução dos danos materiais e de perdas de vidas (CASTRO, 2006; PARIZZI et al., 2010).

No mês de março do ano de 2020, nos dias 02 e 03, respectivamente de segunda para terça-feira, ocorreram chuvas em níveis extremos no município de Guarujá/SP. A precipitação estimada para o período foi de 405 mm em apenas 72 horas, um volume que corresponde a 58 bilhões de metros cúbicos de água, o que equivale a duas vezes o volume do reservatório da usina hidrelétrica de Itaipu, que possui a segunda maior barragem do mundo, conforme dispõe o Diário Oficial do município de Guarujá/SP¹, vindo a provocar movimentações de massa em diversas localidades de Guarujá, e em outras regiões da Baixada Santista.

Ainda, segundo o relatório da Secretaria de Meio Ambiente (SEMAM) de Guarujá, as intensas precipitações provocaram a infiltração elevada de água no solo, provocando a diminuição, ou perda total do atrito das partículas do solo, provocando a movimentação de massa em diversas localidades de Guarujá.

Quando ocorrem episódios de movimentação de massa em razão de períodos de precipitação elevados, torna-se imperativa a tomada de decisão pelo poder público frente a eventuais prejuízos econômicos e/ou socioambientais, com vistas à contenção de novos acidentes e/ou minimizar os danos decorrentes dos deslizamentos, por medidas estruturais ou

¹ Disponível em: <https://d18xl8ggo6ud4h.cloudfront.net/wp-content/uploads/2020/03/14-03-2020.pdf>. Acesso em 25 de dezembro de 2020.

não-estruturais, devendo-se optar pela alternativa mais adequada à realidade do caso em análise (MMA, 2007).

Diante deste cenário, ao poder público municipal foi repassado o montante de R\$ 25 milhões de reais, pelo Governo do Estado de São Paulo, para a execução de uma obra de contenção voltada para a recuperação de uma das áreas atingidas, chamada de Jardim Bela Vista e conhecida como Morro do Macaco Molhado, por meio de métodos de impermeabilização do solo, como a projeção de concreto na parte superior e a aplicação de tirantes de solo grampeado, estruturado com malha de ferro. Ainda, construiu-se um sistema de drenagem para auxiliar a captação de águas pluviais e escadas de dissipação de energia foram implantadas para reduzir a velocidade de descida do líquido².

A presente monografia é motivada pelas movimentações de massa que ocorreram em Guarujá/SP, em razão do elevado volume de chuvas que atingiu a região, provocando impactos ambientais e sociais nas áreas afetadas. A importância do estudo de alternativas de intervenções estruturais aplicadas em casos concretos, voltados para a prevenção e o controle desses eventos, se dá na medida em que esses eventos, que ocorrem em diversas cidades brasileiras, são agravados pela mudança climática e trazem consigo prejuízos para a população, além da consequente necessidade de imediata tomada de decisão pelo poder público a fim de prevenir e mitigar eventuais impactos.

²Disponível em: <https://www.guaruja.sp.gov.br/concluidas-obras-de-contencao-no-morro-da-bela-vista/>. Acesso em 25 de dezembro de 2020.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

Caracterizar as movimentações de massa que ocorreram em março de 2020 no Jardim Bela Vista, situado na cidade de Guarujá/SP e descrever a obra de contenção realizada pelo poder público no local.

2.2 Objetivos específicos

- Apresentar um referencial teórico acerca dos movimentos gravitacionais de massa, suas condicionantes e um panorama sobre as intervenções estruturais e não estruturais aplicáveis;
- Caracterizar o município de Guarujá/SP e a região do Jardim Bela Vista, onde ocorreram movimentos de massa após o intenso evento pluviométrico;
- Caracterizar as movimentações de massa que ocorreram entre os dias 02 e 03 de março de 2020 no Jardim Bela Vista; e
- Descrever a obra de contenção efetuada pelo poder público no Jardim Bela Vista.

3 METODOLOGIA

Esta monografia é uma pesquisa exploratória e descritiva com abordagem qualitativa (GERHARDT & SILVEIRA, 2009). Os procedimentos técnicos utilizados são pesquisas bibliográficas e documentais e estudo de caso (SILVA & MENEZES, 2005).

Inicialmente, visa-se fazer uma revisão bibliográfica a fim de subsidiar o referencial teórico acerca do tema movimento de massa, suas classificações e causas, bem como sua correlação com eventos de alta pluviosidade e interferências antrópicas em áreas de encostas. Também, pesquisa-se trabalhos que abordam as características do local e as demais informações consideradas pertinentes para o aprofundamento do tema no contexto do estudo de caso.

Por sua vez, na etapa de análise documental são consultados os relatórios oficiais produzidos pela Defesa Civil de Guarujá, pela Secretaria Municipal de Meio Ambiente, pelo Instituto Geológico (IG) e pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), assim como as demais cartas e trabalhos que abordam a suscetibilidade de risco local e os documentos relacionados com a execução das obras de contenção na área estudada.

Na etapa de estudo de caso visa-se caracterizar a área de estudo, identificar os tipos de movimento de massa ocorridos e, por fim, descrever a solução adotada pelo Poder Público municipal de Guarujá/SP no Jardim Bela Vista.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA: MOVIMENTO DE MASSA

Processos de dinâmica superficial, como os movimentos gravitacionais de massa, representam fenômenos naturais e fazem parte do ciclo do planeta, quando ocorrem em áreas ocupadas podem ocasionar consequências econômicas e sociais, levando ao caráter de desastre natural (RECKZIEGEL, 2012).

Para Guerra e Marçal (2006), movimentos de massa são entendidos como sendo “o transporte coletivo de material rochoso e/ou de solo, onde a ação da gravidade tem papel preponderante, podendo ser potencializado, ou não, pela ação da água” (p. 75-76).

Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2007), um movimento de massa pode ser definido como “o fenômeno de movimentação de materiais sólidos de várias naturezas ao longo de terrenos inclinados” (p. 76-79).

Movimentos de massa representam os processos geodinâmicos superficiais que mais afetam as cidades brasileiras e as chuvas representam um dos principais fatores que desencadeiam esses movimentos de massa no Brasil. Muitos são os estudos que correlacionam a pluviosidade com eventos de movimentação de massa em encostas (LUCIANO & LEMOS, 2001; CASTRO, 2006; PARIZZI, et al., 2010; AMARAL, 2018).

Além das condicionantes naturais que levam ao processo de movimentos de massa, a ocupação habitacional precária associada às atividades antrópicas como cortes em talude, aterros, depósitos de lixo, modificações na drenagem, desmatamentos, dentre outras, influenciam na instabilidade das encostas para a formação desses processos (FERNANDES et al., 2001).

As movimentações de massa nas encostas podem ocorrer devido à combinação de diferentes fatores, tais quais a ocorrência de períodos de intensas chuvas com números além do comum para o período, em regiões onde existem habitações irregulares em áreas de encostas, com mínima ou ausência de infraestrutura adequada, além de uma parcela menor ou inexistência de vegetação (LOURENÇO & LEMOS, 2001).

Conforme esclarece Bigarella et al. (2003):

As condições que favorecem os movimentos de massa dependem principalmente da estrutura geológica, da declividade da vertente (forma topográfica), do regime de chuvas (em especial de episódios pluviais intensos), da perda de vegetação e da atividade antrópica, bem como pela existência de espessos mantos de intemperismo, além da presença de níveis ou faixas impermeáveis que atuam como planos de deslizamentos (p. 1026).

Portanto, percebe-se que os fatores naturais que levam a movimentação de massa fazem parte da própria dinâmica das encostas, podendo ser potencializados pelas intervenções antrópicas (PINTO, PASSOS & CANEPARO, 2012). Para a classificação dos movimentos de massa, em geral, consideram-se a velocidade de deslocamento de materiais vertente abaixo, o tipo de material envolvido, a geometria do material e a presença ou não de água (BIGARELLA; MOUSINHO, 1965; BIGARELLA, et al., 2003; CHRISTOFOLETTI, 1980, FERNANDES; AMARAL, 2000; GUIDICINI; NIEBLE, 1984; GARSON; KIRKBY, 1972 apud PINTO, PASSOS & CANEPARO, 2012).

Movimentos de massa também podem ser desmembrados em, ou compreendidos como, escorregamentos, deslizamentos, ruptura de talude, queda, tombamento, dentre outras nomenclaturas (GUIMARÃES et. al, 2008), sendo as diferentes denominações influenciadas pela velocidade e composição do material deslocado da vertente (PINTO, PASSOS & CANEPARO, 2012). Em geral, não há um consenso sobre as terminologias utilizadas pelos órgãos de pesquisa e de defesa civil (RIFFEL; GUASSELLI & BRESSANI, 2016).

Reckziegel (2012) ilustra os principais tipos de movimentos de massa em encostas na dinâmica ambiental brasileira, segundo a classificação de Augusto Filho (1992), a mais utilizada no Brasil (CASTRO 2006; AMARAL, 2018), que resume os processos com as características do movimento, dos materiais mobilizados e da geometria destes, conforme o quadro 01 abaixo.

Quadro 01: Principais tipos de movimentos de massa em encostas no Brasil.

PROCESSOS	CARACTERÍSTICAS DO MOVIMENTO/MATERIAL/GEOMETRIA
Rastejos (Creep)	<ul style="list-style-type: none"> - Vários planos de deslocamento (internos) - Velocidades muito baixas (cm/ano) e decrescente em profundidades - Movimentos constantes, sazonais ou intermitentes - Solos, depósitos, rocha alterada/fraturada - Geometria indefinida
Escorregamentos (Slides)	<ul style="list-style-type: none"> - Poucos planos de deslocamentos (externos) - Velocidades médias (m/h) e altas (m/s) - Pequenos e grandes volumes de material - Geometria e materiais variáveis - Planares: solos poucos espessos, solos e rochas com plano de fraqueza - Circulares: solos espessos homogêneos e rochas muito fraturadas - Em cunha: solos e rochas com dois planos de fraqueza
Quedas (Falls)	<ul style="list-style-type: none"> - Sem plano de deslocamento - Movimentos tipo queda livre ou em plano inclinado - Velocidades muito altas (vários m/s) - Material rochoso - Pequenos e médios volumes - Geometria variável: lascas, placas, blocos, etc. - Rolamento de matacão - Tombamento
Corridas (Flows)	<ul style="list-style-type: none"> - Muitas superfícies de deslocamento (internas e externas à massa em movimentação) - Movimento semelhante ao de um líquido viscoso - Desenvolvimento ao longo das drenagens - Velocidades médias e altas - Mobilização de solo, rocha, detritos e água - Grandes volumes de material - Extenso raio de alcance, mesmo em áreas planas

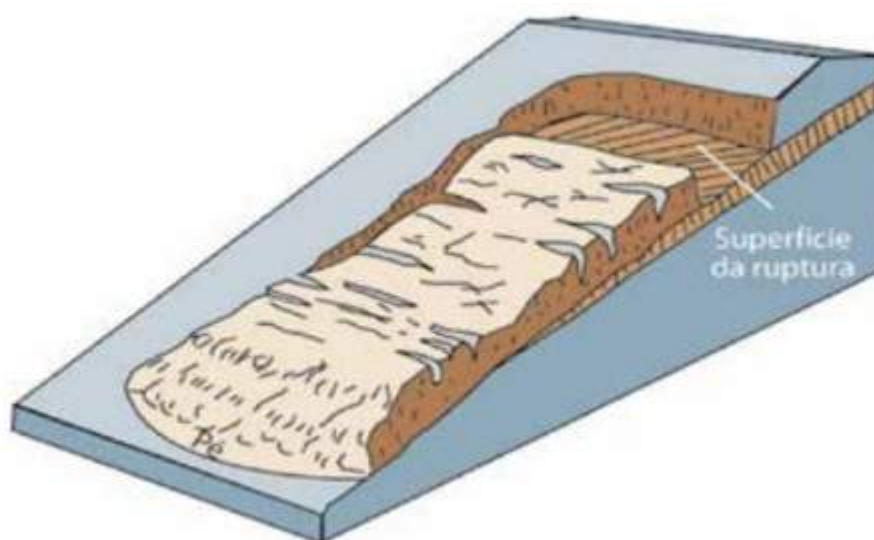
Fonte: RECKZIEGEL, 2012 adaptado de AUGUSTO FILHO, 1992.

Wolle e Carvalho (1994 apud AMARAL, 2018), apontam que para a Serra do Mar ocorrem três tipos de rastejos, associados a mecanismos de i) movimentos contínuos, que possuem maior velocidade em épocas chuvosas, de ii) movimentos pulsantes, gerados pelos ciclos de alterações sazonais de temperatura e umidade do solo, e de iii) movimentos bruscos, causados pelas pressões hidrostáticas nas fendas dos materiais, pela perda de resistência do solo devido a saturação e por efeitos externos, como queda de árvores e blocos (p.19-20).

As quedas são constatadas quando blocos de rochas, destacados do maciço por intemperismo, caem e/ou rolam por ação da gravidade, em movimento tipo queda livre, sem a ocorrência de deslocamentos cisalhantes, podendo a geometria ser em bloco, lascas ou placas. Em geral são causadas em razão da variação térmica do maciço rochoso, perda da sustentação do bloco por ação erosiva da água, vibrações e por falhas e fraturas no maciço (FERNANDES, 2000; RECKZIEGEL, 2012).

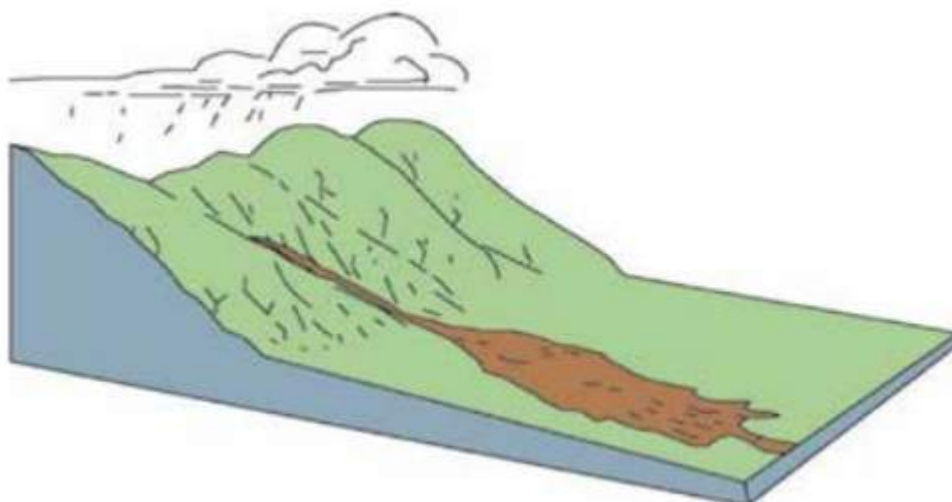
Riffel, Guasselli e Bressani (2016) apontam que os deslizamentos ou escorregamentos e as corridas são os movimentos de massa que mais ocorrem no Brasil, sendo que esses fenômenos em muitos casos se confundem, uma vez que o início da corrida está vinculado a deflagração de um deslizamento anterior. Enquanto os deslizamentos possuem limites laterais e profundidade bem definidos, sendo os volumes desestabilizados de fácil identificação, as corridas, que ocorrem a partir de deslizamentos nas encostas, estão ligadas a eventos pluviométricos intensos, tendo o comportamento de líquido viscoso, que se dá ao longo de um ou mais canais de drenagem (p. 293). As figuras 01 e 02, respectivamente, apresentam um quadro geral de deslizamento planar e corrida de detritos.

Figura 01: Deslizamento Planar.



Fonte: HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008 apud RIFFEL; GUASSELLI & BRESSANI, 2016.

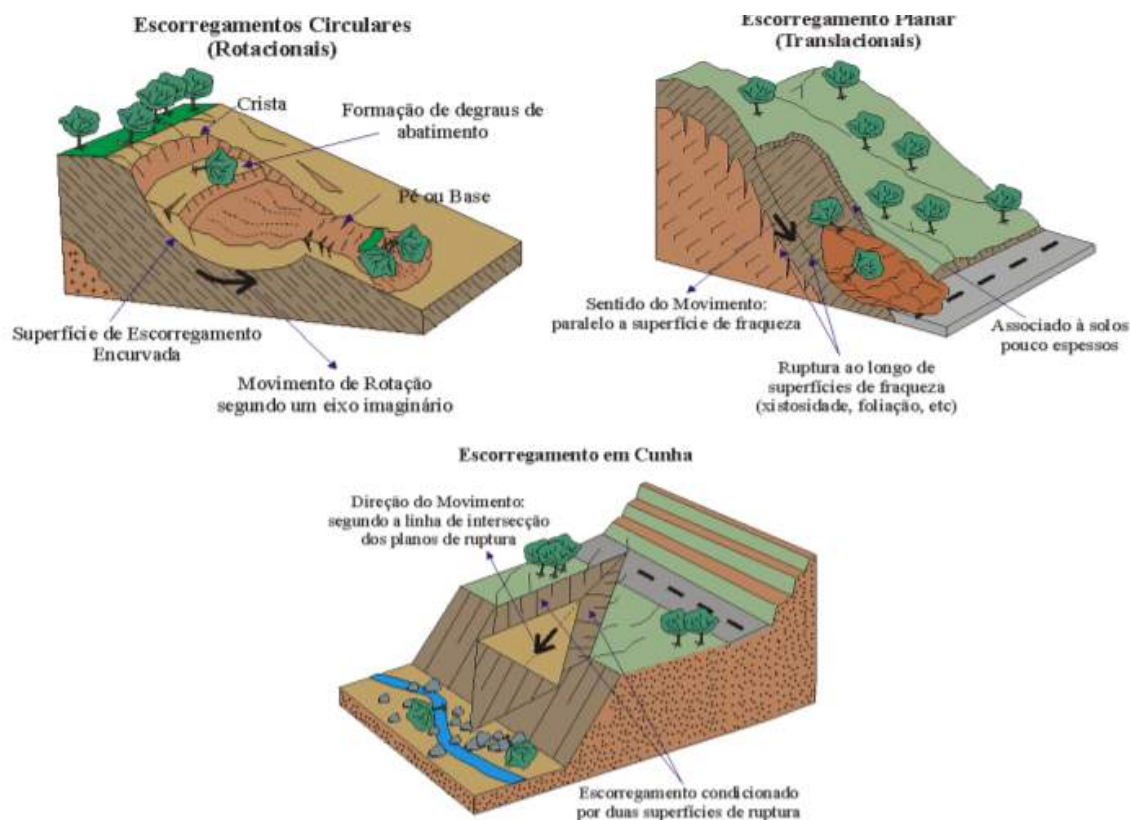
Figura 02: Corrida de detritos.



Fonte: HIGHLAND & BOBROWSKY, 2008 apud RIFFEL; GUASSELLI & BRESSANI, 2016.

Levando em consideração a geometria e a natureza dos materiais desestabilizados, os deslizamentos podem ser caracterizados como *a)* rotacionais ou circulares, quando se gera uma superfície de ruptura curva ao longo da qual se dá um movimento de massa, *b)* translacionais ou planares, sendo os mais frequentes na dinâmica das encostas serranas brasileiras, quando há superfícies de ruptura planar associadas às heterogeneidades dos solos e rochas, ou ainda, *c)* em cunha, quando ocorre movimento ao longo de um eixo formado pela intersecção de estruturas planares em maciços rochosos, havendo dois pontos de fraqueza nos planos de rocha e solos, o que faz o material deslocar-se em forma de um prisma (TOMINAGA et al., 2009; RIFFEL; GUASSELLI & BRESSANI, 2016; AMARAL, 2018). A figura 03 apresenta os três tipos de deslizamentos mencionados.

Figura 03: Figura esquemática dos tipos de deslizamentos ou escorregamentos.



Fonte: AMARAL, 2018 modificado de Infanti Jr. e Fornasari Filho, 1998.

No Brasil, os movimentos de massa que ocorrem nas encostas estão ligados às suas características climáticas, geológicas e geomorfológicas, e nas proximidades do litoral brasileiro, onde a densidade demográfica é maior, é que se tem as condições físicas predominantes que favorecem a insegurança das encostas (PINTO, PASSOS & CANEPARO, 2012).

O aumento de solicitações e a diminuição de resistência dos terrenos, conjugada com os fenômenos naturais e antrópicos associados, são tidos como os principais fatores deflagradores dos movimentos de massa em encostas (VARNES, 1978 apud SILVA, 2014; AMARAL, 2018), conforme o quadro 02 abaixo.

Quadro 02: Fatores de deflagração dos movimentos de massa conforme Varnes (1978).

AUMENTO DA SOLICITAÇÃO	Remoção de massa (lateral ou da base)		Erosão, deslizamentos; Cortes; Peso da água da chuva, neve, granizo, etc; Acúmulo natural de material (depósitos)
	Sobrecarga		Peso da vegetação; Construção de estruturas, aterros, etc; Terremotos, ondas, vulcões, etc
	Solicitações dinâmicas		Explosões, tráfego, sismos induzidos
	Pressões laterais		Água em trincas, congelamento, material expansivo, etc
REDUÇÃO DA RESISTÊNCIA	Características inerentes ao material	Textura, estrutura, geometria, etc	Características geomecânicas do material, estado de tensões iniciais
	Mudanças ou fatores variáveis	Mudanças nas características do material	Intemperismo, redução da coesão, ângulo de atrito
	Outras causas		Elevação do nível d'água; Enfraquecimento devido ao rastejo progressivo; Ação das raízes de árvores e buracos de animais

Fonte: SILVA, 2014 apud AMARAL, 2018.

Abaixo, consta um quadro dos agentes condicionantes dos deslizamentos, divididos entres predisponentes e efetivos, conforme compilado pelo Ministério do Meio Ambiente (2007, p. 81) no quadro 03 abaixo.

Quadro 03: Agentes condicionantes dos deslizamentos.

AGENTES CONDICIONANTES DOS DESLIZAMENTOS			
PREDISPOANTES		EFETIVOS	
Grupo ou Tipo de Condicionante	Características condicionantes	Preparatórios	Imediatos
Clima	<ul style="list-style-type: none"> - pluviosidade - temperatura - sazonalidade 	<ul style="list-style-type: none"> - chuvas - variações de temperatura - dissolução química - erosão eólica e pluvial - presença de nascentes ou fontes de água, mananciais, e surgências d'água. - oscilações do nível d'água subterrânea ou em sub-superfície. - desmatamento - lançamento de lixo e entulho - remoção da cobertura vegetal - execução de cortes e aterros e deposição de materiais - concentração de águas pluviais e servidas 	<ul style="list-style-type: none"> - chuvas intensas e/ou contínuas; - vento - fusão de gelo e neve - tremores de terra - vibrações produzidas por tráfego e explosões - intervenções antrópicas inadequadas, como por exemplo cortes e aterros mal dimensionados - vazamentos nas redes de abastecimento de água, nas redes de esgoto e em fossas
Substrato	<ul style="list-style-type: none"> - tipo de material (rochas, solos, depósitos e sedimentos) - propriedades físico-químicas dos materiais - estruturas geológicas internas (foliação, xistosidade, juntas, fraturas) - relações geométricas entre perfis de alteração e horizonte de solos 		
Relevo	<ul style="list-style-type: none"> - declividade - tipo do perfil da encosta - amplitude 		
Águas superficiais e subsuperficiais	<ul style="list-style-type: none"> - escoamento - infiltração - nível d'água - dinâmica e geometria do fluxo de água em sub-superfície. 		
Vegetação	<ul style="list-style-type: none"> - cobertura e proteção superficial - evapotranspiração - ação radicular - peso 		
Uso e ocupação da terra	<ul style="list-style-type: none"> - tipos de ocupação urbana - densidade de ocupação - agricultura - obras de engenharia 		

Fonte: Ministério do Meio Ambiente, 2007 adaptado de Varnes, 1978; Guidicini e Nieble, 1984; Augusto Filho e Virgili, 1998.

Em que pese haja registros de movimentos de massa desde o período colonial (AUGUSTO FILHO & VIRGILI, 2004 apud PINTO, PASSOS & CANEPARO, 2012), os registros destes fenômenos se ampliaram consideravelmente após a metade do séc. XX, em razão dos avanços técnicos que possibilitaram constatar e monitorar as ocorrências de precipitações e movimentos de massa (PINTO, PASSOS & CANEPARO, 2012).

Neste aspecto, destaca Amaral (2018):

No Brasil, foi criado em 1997 o Plano Preventivo da Defesa Civil, PPDC, específico para deslizamentos nas encostas da Serra do Mar no Estado de São Paulo, abrangendo os municípios de Cubatão, Guarujá, Santos e Bertioga, localizados na Baixada Santista, e Caraguatatuba, Ilhabela, São Sebastião e Ubatuba, localizados no Litoral Norte. Foi criado um Sistema de Alerta Meteorológico para a região, o qual inclui como critério de alerta dois coeficientes meteorológicos, que são: o Coeficiente de Precipitação Crítica (CPC) para Cubatão, e Coeficiente de Ciclo Móvel (CCM), para Baixada Santista e Litoral Norte do Estado de São Paulo (p. 14).

Parizzi et al. (2010, p. 50-51) afirmam que a ocorrência de movimentos de massa nas mais variadas cidades brasileiras estão sempre associados a episódios de altas precipitações e são muitos os estudos que correlacionam episódios de chuvas e movimentos de massa, como em encostas localizadas na Serra do Mar, em Caraguatatuba, na Baixada Santista, Campinas, Ouro Preto e em rodovias do estado de São Paulo, no sudeste brasileiro, também em Salvador, Maceió, Olinda, Rio de Janeiro, Petrópolis, dentre outros (AMARAL, 2018; ANTONELLI, 2018), como pode se observar no estudo de Pinto, Passos e Caneparo (2012), onde constatou-se que a elevada pluviosidade, em conjunto com as características geológicas e geomorfológicas e pedológicas, em vertente íngreme de Serra da Prata/PR, desencadeou um processo intenso de movimentação de massa, resultando em alterações no meio natural e prejuízos socioeconômicos (p. 22-24). Também no estudo de Castro (2006) que, diante das análises realizadas com os registros de ocorrências de escorregamentos para a cidade de Ouro Preto, chegou-se à conclusão de que “a chuva acumulada é de grande influência no desencadeamento de escorregamentos” (p. 94). E Parizzi (2010), que infere que as ocorrências de deslizamentos estão associadas a eventos de chuva excepcional, levando-se em consideração que as práticas incorretas de uso dos terrenos ou acidentes como vazamentos e ruptura de tubulações podem ser condicionantes mais importantes ao desencadeamento do que a própria chuva (p. 64-67).

Amaral (2018), ao fazer uma análise estatística da precipitação relacionada a ocorrência de movimentos de massa em Cubatão/SP, aponta que o fator de saturação do solo, as características fisiográficas da área e o uso e ocupação da terra em locais de risco precisam ser considerados na análise de previsibilidade de movimentos de massa, uma vez que mesmos níveis de intensidade de chuvas podem causar um impacto em determinado local e em outro não causar impactos significativos (p. 75-76).

Sobre episódios de movimentos de massa no Brasil, e sua correlação com chuvas e interferências antrópicas, destacam Pinto, Passos e Caneparo (2012):

Os eventos catastróficos no Brasil guardam características peculiares, em Santos-SP (1956), os escorregamentos de terra nos morros foram ocasionados basicamente pelas condições geológicas e pela ação antrópica, efetivados pelas chuvas intensas e prolongadas. O ocorrido na região de Tubarão-SC (1974) teve como principal agente desencadeador as pesadas precipitações, 742 mm em 16 dias de chuvas, dos quais 251,7 mm caíram em 24 horas (25.03.1974), desmoronamentos e enchentes danificaram uma grande extensão de terras. Situação semelhante aconteceu na Serra das Araras e em Caraguatatuba (1967) com movimentos de

massa em forma de desmoronamentos, em que os índices pluviométricos atingiram 420 mm em 18.03.1967 desencadearam o processo (p. 16).

Observam-se que os estudos relacionados a episódios de chuva e movimentos de massa se dão em áreas em que houve a retirada da vegetação para a inserção de ocupações humanas em condições irregulares, sendo o risco agravado pelas tipologias de edificações precárias conjugadas com aspectos físicos e de uso da terra, como casas de alvenaria, madeira, lona, telhas de zinco, sem fundação, inseridas precariamente em áreas de altas declividades (PARIZZI et al, 2010). É o que expõe o trabalho de Machado e Mendes (2014) com relação a quantidade de movimentos de massa em favelas situadas em encostas no Rio de Janeiro. Também, o trabalho de Ferreira et al. (2004) demonstrou que a ação antrópica e a ocorrência de intensa precipitação pluviométrica são fatores determinantes nos movimentos em encostas em Ouro Preto/SP (p. 240). E Reckziegel (2016), que constatou que a expansão urbana de Porto Alegre levou a população a ocupar as encostas dos morros, desencadeando áreas com perigo de movimentos de massa (p. 80).

É necessária a compreensão interdisciplinar dos desastres naturais e a identificação das causas que deflagram esses fenômenos, possibilitando, assim, prever e prevenir os acidentes, bem como adotar medidas tendentes a minorar suas consequências (PINTO, 2009).

Uma vez conhecidas as áreas e riscos inerentes em função da possibilidade de ocorrência de movimentos de massa, é necessário avaliar e adotar medidas de prevenção e mitigadoras, podendo estas serem de natureza estrutural ou não-estrutural (MMA, 2007), conforme dispõe o quadro 04 abaixo.

Quadro 04: Natureza e principais tipos de medidas estruturais e não-estruturais utilizadas para a prevenção e mitigação de deslizamentos.

Medidas Preventivas e Mitigadoras	Natureza	Principais Tipos
Estruturais	As ações estruturais são aquelas onde se aplicam soluções da engenharia construindo muros, sistemas de drenagem, relocação de moradias, etc., naquilo que alguns chamam de "tecnologia dura". Sem dúvida, essas ações normalmente são muito custosas, sobretudo se é necessário conter deslizamentos de grande magnitude	<ul style="list-style-type: none"> - obras de terraplanagem - obras de proteção superficial - obras de drenagem - obras de contenção - reurbanização de áreas
Não Estruturais	As ações não-estruturais são aquelas onde se aplica um rol de medidas relacionadas às políticas urbanas, planejamento urbano, legislação, planos de defesa civil e educação, fundamentalmente. Normalmente, têm custo muito mais baixo que as medidas estruturais (obras de contenção) e resultados muito bons, principalmente na prevenção dos desastres. Trata-se, portanto, de medidas sem a construção de obras de engenharia.	<ul style="list-style-type: none"> - congelamento de áreas à urbanização - adoção de políticas habitacionais - planos preventivos de defesa civil - educação ambiental - vistorias

Fonte: MMA, 2007 modificado de Macedo et al, 2004.

O plano de intervenções estruturais reside na concepção de medidas mais adequadas para os setores de mais alto risco, envolvendo obras de engenharia e/ou remoção de moradias, consignando-se que as políticas de prevenção não devem ser exclusivamente pautadas na remoção extensiva de ocupações, uma vez que a causa principal do problema é a necessidade habitacional da população mais pobre, devendo-se, ao contrário, buscar manter a população no local de origem e aumentar a sua segurança por meio de obras de contenção de encostas, sendo a remoção restringida aos casos de necessidade geotécnica, que impeçam totalmente a ocupação, com o consequente deslocamento da comunidade (CARVALHO & GALVÃO, 2016).

Em situações de instabilidade geotécnica, alguns planos de urbanização da Região Metropolitana de São Paulo (RMSP) tinham como solução inicial a remoção total de famílias e, após reavaliação das concepções de obras de estabilização por meio de novos estudos, observou-se a possibilidade de que as famílias, anteriormente em situação de risco, fossem estabelecidas no mesmo local (IPT, 2007).

Afirma o IPT (2016, p. 15) que os critérios de priorização das intervenções deverão considerar:

1. o grau de risco geológico;
2. a abrangência dos impactos resultantes;
3. o número de moradias diretamente beneficiadas;
4. a participação da comunidade;
5. a viabilidade técnica e de execução;
6. custos de implantação da obra por setor e cronograma de execução;
7. viabilidade de articulação para a captação de fontes alternativas de recursos essenciais; e
8. Integração aos programas de regularização fundiária e urbanização de favelas já existentes no município.

Segundo o Ministério de Meio Ambiente (2007), obras de engenharia, sejam de caráter preventivo ou corretivo, representam o principal recurso tecnológico utilizado na gestão de áreas suscetíveis a movimentos de massa em encostas, sendo agrupadas em diferentes categorias frente às suas características (p. 91-92), conforme delineia o quadro 05 abaixo.

Quadro 05: Tipos de medidas estruturais para a prevenção e controle de movimentos de massa.

Categorias	Características
Obras com e sem estruturas de contenção	Incluem os retaludamentos e aterros, as obras com estruturas de contenção e de proteção. Os retaludamentos estão representados por cortes de taludes e aterros compactados. As obras de contenção incluem os muros de gravidade (muros de pedra seca, de pedra argamassada, de gabião, de concreto ciclópico, de concreto armado). Outras obras de contenção são a estabilização de blocos de rocha, os atirantamentos e os aterros reforçados principalmente com geotexteis. As obras de proteção contra massas mobilizadas incluem as barreiras vegetais e os muros de espera. Cada problema precisa ser avaliado para se determinar qual a obra mais eficaz, principalmente em relação aos custos envolvidos.
Drenagem	As obras de drenagem têm por objetivo captar e conduzir as águas superficiais e subterrâneas da vertente, evitando a erosão e a infiltração no solo, que podem gerar um deslizamento. Todas as obras de contenção têm a drenagem como uma das suas mais importantes medidas complementares. A drenagem superficial pode utilizar valas revestidas, canaletas moldadas <i>in situ</i> , canaletas pré-moldadas, guias e sarjetas, tubos de concreto, escadas de água, caixas de dissipação, caixas de transição. A drenagem das águas subterrâneas utiliza as trincheiras drenantes e os drenos profundos. Todos os tipos de obras de drenagem devem ser devidamente dimensionados em função da quantidade de água que deve conduzir.
Reurbanização de áreas	A enorme quantidade de famílias que vivem em áreas de risco, a falta de terrenos nas cidades que sejam propícios para a construção de novas moradias, o alto custo de programas habitacionais, a incapacidade do Poder Público em evitar a ocupação de áreas sem planejamento prévio, faz com que a reurbanização de áreas seja, em muitos casos, a solução alternativa adequada para minimizar o impacto de deslizamentos. Os projetos de recuperação de áreas devem conter soluções para o sistema viário, água potável, drenagem de águas pluviais e de esgotos, fornecimento de eletricidade, coleta de lixo, abertura de espaços de lazer, relocação e melhoria de moradias e obras para diminuir riscos.
Moradias	As moradias em áreas de encostas devem ser devidamente projetadas levando em conta as características dessas áreas. Devemos evitar ou reduzir a necessidade e dimensão de cortes e aterros, localizando as edificações com seu lado maior paralelo às curvas de nível. As moradias com mais de um pavimento devem ser construídas em desnível, acompanhando a declividade natural da encosta. Os componentes e sistemas construtivos devem incluir materiais mais resistentes, principalmente paredes, muros e estruturas que possam servir como contenção de solo, com impermeabilização, tubulações hidráulicas estanques (para não haver vazamento), as águas pluviais captadas em telhados e áreas livres devem ter destinação adequada impedindo-se o despejo sobre terrenos e aterros desprotegidos.
Proteção de superfície	A proteção das superfícies dos terrenos impede a formação de processos erosivos e diminuem a infiltração de água no maciço. Essa proteção pode utilizar materiais naturais ou artificiais. A proteção com materiais naturais incluem: a cobertura do terreno, de preferência com revestimento vegetal típico da área; a cobertura com gramíneas; o uso de solo argiloso para preenchimento de trincas, fissuras e sulcos erosivos; o uso de blocos de rocha, tanto assentados sobre o talude como na forma de gabião. A proteção com materiais artificiais inclui alternativas como a impermeabilização asfáltica, a aplicação de solo-cal-cimento; a aplicação de argamassas; aplicação de argamassa projetada sobre tela (tela e gunita) e aplicação de telas metálicas ou não sobre a superfície, principalmente para a contenção de blocos de rocha.

Fonte: MMA, 2007 modificado de Macedo et al, 2004.

O IPT (2007), no estudo de elaboração do Plano de Redução de Risco para o município de Guarujá, propõe a tipologia de intervenções estruturais voltadas para a contenção de movimentos de massa em encostas conforme o quadro 06 abaixo.

Quadro 06: Tipologia de intervenções estruturais voltadas à redução de riscos associadas a movimentos de massa em encostas ocupadas.

TIPO DE INTERVENÇÃO	DESCRIÇÃO
SERVIÇOS DE LIMPEZA E RECUPERAÇÃO	Serviços de limpeza de entulho, lixo, etc. recuperação e/ou limpeza de sistemas de drenagem, esgoto e acessos. Também incluem obras de limpeza de canais de drenagem. Correspondem a serviços manuais e/ou utilizando maquinário de pequeno porte.
OBRAS DE DRENAGEM SUPERFICIAL, PROTEÇÃO VEGETAL (GRAMÍNEAS) E DESMONTE DE BLOCOS E MATAÇÕES	Implantação de sistema de drenagem superficial (canaletas, rápidos, caixas de transição, escadas d'água, etc.). Implantação de proteção superficial vegetal (gramíneas) em taludes com solo exposto. Eventual execução de acessos para pedestres (calçadas, escadarias, etc.) integrados ao sistema de drenagem. Proteção vegetal de margens de canais de drenagem. Desmonte de blocos rochosos e matações. Predomínio de serviços manuais e/ou com maquinário de pequeno porte.
OBRAS DE DRENAGEM DE SUBSUPERFÍCIE	Execução de sistema de drenagem de subsuperfície (trincheiras drenantes, DHP, poços de rebaixamento, etc.). Correspondem a serviços parcial ou totalmente mecanizados.
ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO LOCALIZADAS OU LINEARES	Implantação de estruturas de contenção localizadas, como chumbadores, tirantes, microestacas e muros de contenção passivos de pequeno porte ($h_{max}=5m$ e $l_{max}=10m$). Obras de contenção e proteção de margens de canais (gabiões, muros de concreto, etc.). Correspondem a serviços parcial ou totalmente mecanizados.
OBRAS DE TERRAPLENAGEM DE MÉDIO A GRANDE PORTES	Execução de serviços de terraplenagem. Execução combinada de obras de drenagem superficial e proteção vegetal (obras complementares aos serviços de terraplenagem). Obras de desvio e canalização de córregos. Predomínio de serviços mecanizados.
ESTRUTURAS DE CONTENÇÃO DE MÉDIO A GRANDE PORTES	Implantação de estruturas de contenção de médio a grande porte ($h>5m$ e $l>10m$), envolvendo obras de contenção passivas e ativas (muros de gravidade, cortinas, etc.). Poderão envolver serviços complementares de terraplenagem. Predomínio de serviços mecanizados.

Fonte: IPT, 2007.

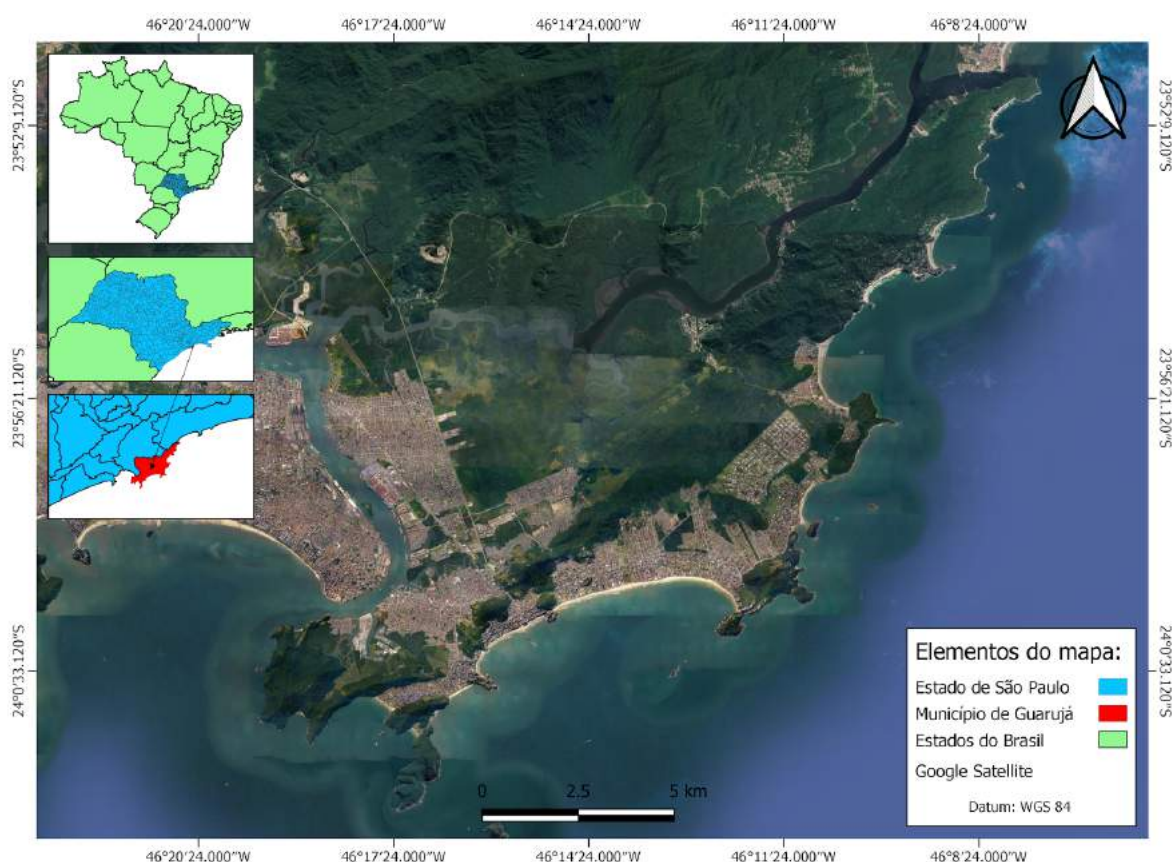
Dadas essas considerações acerca dos movimentos de massa e suas condicionantes, passar-se-á a caracterização do município de Guarujá/SP.

5 ÁREA DE ESTUDO

5.1 Caracterização da área

A área de estudo está situada no município de Guarujá, no Estado de São Paulo. O município está localizado na Ilha de Santo Amaro, situada na Região Metropolitana da Baixada Santista (RMBS), nas coordenadas geográficas de latitude $23^{\circ} 59' 18''$ S e longitude $46^{\circ} 14' 32''$ W, a uma altitude de 10m. Guarujá possui uma área de $143,67 \text{ km}^2$,³ com população de 322.750 habitantes e densidade demográfica de $2.026,80 \text{ hab/km}^2$ (IBGE, 2020). A figura 04 apresenta a localização do município de Guarujá, na zona litorânea do Estado de São Paulo.

Figura 04: Município de Guarujá, na zona litorânea do Estado de São Paulo.



Fonte: Autoria própria, com base em imagens do Google Earth e dados da Infraestrutura de Dados Espaciais do Estado de São Paulo (IDEA-SP) e do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), 2020.

³Conforme dispõe o relatório de atualização do Plano Municipal de Redução de Riscos de Deslizamentos para o município de Guarujá (2016), elaborado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT).

5.1.1 Meio físico

A RMBS, situa-se em uma estrutura de relevo complexo, apresentando uma dinâmica associada a uma heterogeneidade de processos naturais, como movimentos de massa, deslocamento de blocos, corridas de lama e inundações, mostrando-se vulneráveis a esses processos (GIGLIOTI, OLIVEIRA & BACCI, 2008). Segundo o IPT (2020), a geologia, a geomorfologia, o clima, a infraestrutura urbana e os tipos de intervenção antrópica são fatores que influenciam na ocorrência de movimentos de massa. Segundo o Ministério do Meio Ambiente (2007), em termos de distribuição geográfica, e considerando as características geológicas, geomorfológicas e climáticas do Brasil, destaca-se no Sul e Sudeste as regiões das serras do Mar e da Mantiqueira, no Nordeste as cidades assentadas sobre a Formação Barreiras, e as regiões serranas nos planaltos centrais, como áreas de maior tendência a ocorrência de deslizamentos.

5.1.1.1 Considerações geológicas, geomorfológicas e pedológicas

Segundo Antonelli (2018), a compreensão das características geológicas se dá em razão de que muitos movimentos de massa são deflagrados em áreas com condições geológicas específicas (p. 16).

No Brasil, as áreas mais susceptíveis à ocorrência de processo de movimentos de massa estão no sopé da Serra do Mar, da Serra da Mantiqueira e Serra Geral, em uma área que se estende da região Sul até a região Norte. A região da Serra do Mar é composta por escarpas florestadas, que são fontes de recursos naturais e possuem como fitofisionomia principal a floresta ombrófila densa (AMARAL, 2018).

Segundo o IPT, o substrato da região do Município de Guarujá está incluído na Província Mantiqueira, representada pelas rochas do Complexo Costeiro e por granitos do orógeno Araçuaí-Rio Doce. As unidades mais recentes, cenozóicas, são resultado da combinação do tectonismo que originou a Serra do Mar e das variações do nível do mar e flutuações climáticas regionais, cujos principais eventos resumem-se na formação do relevo, presença de clima tropical úmido, invasão marinha e deposição de sequências sedimentares associadas à Formação Cananéia. Associam-se a esta externamente os sedimentos continentais coluvionares indiferenciados, os sedimentos marinhos e mistos, atuais e subatuais, e os sedimentos aluvionares de terraços e de calhas fluviais⁴.

⁴ Conforme dispõe o relatório técnico-parcial de estudos técnicos para a criação de Unidade de Conservação na Serra de Santo Amaro em Guarujá/SP (2020), elaborado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT).

O mapeamento geológico levantado pelo IPT indica que nos morros da Baixada Santista as rochas predominantes na região do Município de Guarujá são migmatitos estromáticos e oftálmicos com porções xistosas e/ou gnáissicas que formam o maciço que sustenta a Serra de Santo Amaro e morros adjacentes. As demais áreas apresentam-se cobertas em grande parte por sedimentos arenosos do Quaternário, de origem marinha e mista. Os sedimentos marinhos e mistos são de origem flúvio/marinho/lacustre e foram retrabalhados por ação fluvial e/ou eólica, assim como os depósitos de mangues mais modernos. A espessura destes sedimentos chega a alcançar mais de 50 metros (IPT, 2020).

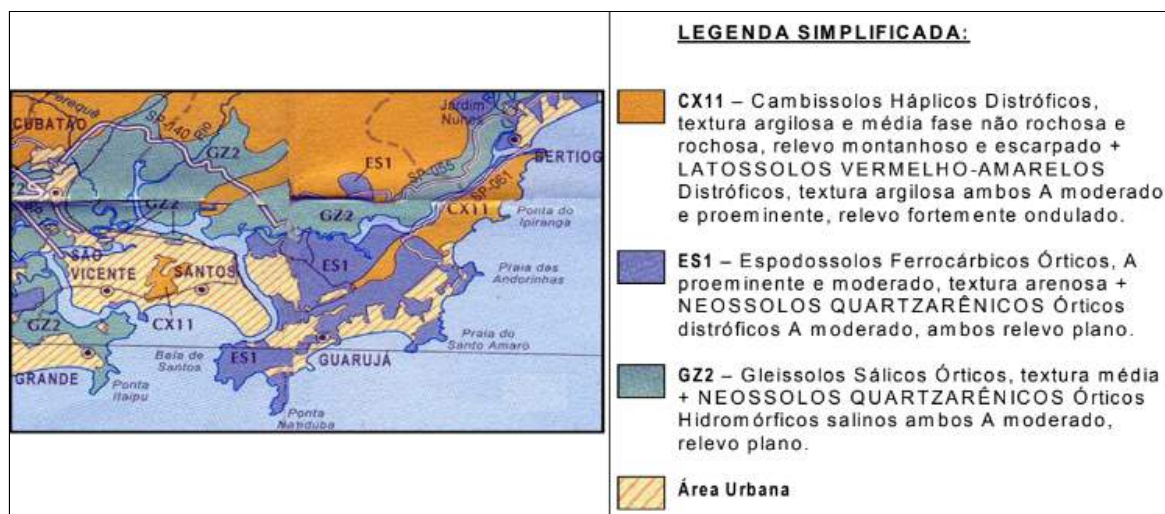
As áreas de risco localizadas nos trechos sedimentares estão principalmente associadas aos processos de solapamento de margens e aos movimentos de massa deflagrados pela intervenção antrópica inadequada ao terreno (IPT, 2020).

O Plano de Macrodrenagem do Município de Guarujá (2012) ressalta que as ocupações irregulares e outras obras inadequadas desencadeiam movimentos de massa potencialmente críticos nas áreas de relevo mais acidentado (morros, montanhas e escarpas).

A geomorfologia do Guarujá caracteriza-se pela drenagem que escoar diretamente para o mar, com áreas de planícies litorâneas formadas por areia, silte e argila, sedimentos depositados pelo mar e pelos rios, cortadas por diversos canais sinuosos de água salobra, que influenciados pela maré colaboram no desenvolvimento dos mangues (GUARUJÁ, 2012).

O solo do município não apresenta características para o desenvolvimento de atividade agrícola e os recursos minerais existentes limitam-se basicamente às matérias primas utilizadas na construção civil como areia, cascalho, brita e pedras. É constituído pelo tipo Cambissolos Háplicos (Cambissolos), Espodossolos Ferrocárbicos (Podzóis) e Gleissolos Sálcos (Solonchaks) (GUARUJÁ, 2012). A figura 05 apresenta o Mapa Pedológico do Estado de São Paulo, na escala 1:500.000, com ênfase na região do Guarujá.

Figura 05: Detalhe da região do Guarujá no mapa pedológico do Estado de São Paulo.



Fonte: OLIVEIRA, 1999 apud IPT, 2007.

Segundo o IPT (2016), quanto aos padrões de relevo de Guarujá, há o predomínio das planícies e terraços fluviais e marinhos e as planícies fluviomarinhas (mangues), sendo os Morros Altos em termos de extensão a segunda classe predominante. As planícies apresentam amplitudes inferiores a 20 metros e declividade média inferior a 5°. Os Morros Altos possuem amplitudes que variam de 140 a 200 metros e declividade média superior a 16°.

5.1.1.2 Clima e pluviosidade

Regiões de florestas ombrófilas densas possuem como principal característica ecológica os altos índices termopluiométricos, conferindo um regime de chuvas bem distribuídas ao longo do ano. Segundo o IPT (2020), o município do Guarujá possui clima tropical úmido, onde predominam temperaturas superiores a 18°C e índices pluviométricos anuais superiores a 2000 mm, que se distribuem ao longo do ano, com concentração no verão, representando cerca de 70% da precipitação média anual, que varia de 2.000 a 4.000 mm de um local para outro devido ao efeito orográfico. A região está sob influência, principalmente, da chuva do tipo convectiva, com precipitação causada pelo movimento vertical de uma massa de ar ascendente, que é mais quente do que o meio ambiente, usualmente mais intensa que a orográfica, mas de menor duração e frequentemente acompanhada de trovões. Os postos utilizados para a análise climatológica do município do Guarujá pertencem ao Departamento de Água e Energia Elétrica (DAEE). O período chuvoso no município vai de dezembro a março e o período de seca de junho a agosto, o mês de janeiro é o mais chuvoso, com média histórica de 296 mm.

5.1.2 Ocupação urbana e uso do solo

Segundo dados do censo de 2010 (IBGE), o município de Guarujá registrou uma população total de 290.526 habitantes, compreendendo 17% da população da RMBS, sendo a ocupação predominantemente urbana e a rural representada em menos de 0,03%. O município figura entre aqueles que tiveram maior crescimento entre 1980 a 2005, e no ano de 2005 Guarujá foi o 2º município da Baixada Santista que apresentou a maior densidade demográfica (SEADE, 2009). O município apresenta significativo índice de população flutuante, fazendo com que o número de pessoas chegue a triplicar na época de alta temporada.

Consta no Relatório Técnico de Apoio a Prevenção e Redução de Riscos em Assentamentos Precários de Guarujá (IPT, 2007) que o município de Guarujá teve crescimento acelerado entre 1970 a 1980, e com o milagre econômico dos anos 70, conjuntamente com a construção da Rodovia Piaçaguera provocaram um aumento significativo do turismo e da migração para a cidade, com consequente queda da qualidade ambiental (poluição das águas, ocupação de áreas sensíveis como morros e mangues, sobrecarregamento da infraestrutura, etc).

Os estudos técnicos voltados para a criação de Unidade de Conservação em Guarujá, do IPT⁵, em relação à situação fundiária do município, apontam a existência de vários núcleos irregulares, com precária infraestrutura e condições sanitárias, sendo que alguns apresentam o agravante de encontrar-se em áreas de riscos a deslizamentos e movimentos de massa e em desconformidade com a legislação ambiental.

O Plano de Macrodrenagem⁶ de Guarujá (2012) atenta para o fato de que as ocupações localizadas nas encostas dos morros, em margens de estradas e em áreas verdes remanescentes (suprimidas por essas ocupações) demonstram falta de infraestrutura, de serviços, de atendimentos e remanejamentos adequados, colocando a maior parte dessa população sujeita a eventuais deslizamentos de encostas e inundações causadas por enchentes, e, ainda, ressalta que o surgimento dessas ocupações está vinculado à demanda de mão-de-obra para a produção de edifícios, estradas de rodagem, à criação de pólos de trabalho por meio da instalação de indústrias, ao reduzido território no município de Santos impossibilitando a fixação da população de baixa renda, e ao baixo controle sobre a ocupação de seu território, tendo por consequência a proliferação de

⁵ Relatório técnico-parcial de estudos técnicos para a criação de Unidade de Conservação na Serra de Santo Amaro em Guarujá/SP (IPT, 2020).

⁶ Conforme dispõe o Plano Diretor de Macrodrenagem do Município de Guarujá (2012), elaborado pela Prefeitura Municipal de Guarujá em projeto financiado pelo Comitê de Bacia Hidrográfica da Baixada Santista (CBH-BS).

loteamentos clandestinos e ocupações irregulares, principalmente nas áreas de mananciais, mangues e morros da região.

Destaca-se a presença de moradias instaladas em patamares de cortes e aterros realizados nas encostas, que levam a modificação das condições de estabilidade local. As ocupações não foram feitas da forma mais adequada e se observa a ausência de sistemas de drenagem superficial para disciplinar as águas pluviais e servidas (IPT, 2007).

Ainda, segundo o IPT (2007), o crescimento do uso e ocupação do solo urbano em Guarujá tem causado alterações nas condições de estabilidade das encostas, sendo que as principais alterações realizadas nas encostas que propiciam os terrenos à ocorrência de deslizamentos estão relacionadas com as seguintes intervenções:

- 1) mudança da geometria original das encostas decorrente da execução de cortes com altura e inclinação excessiva, tanto para a construção de moradias como na execução de sistema viário;
- 2) mudança na conformação do terreno e na constituição da cobertura superficial da encosta, causada pela construção de patamares (“aterros”) com o próprio material de escavação dos cortes, sem compactação, proteção superficial e drenagem, para implantação de moradias ou acessos;
- 3) exposição do solo aos processos superficiais pela remoção total da cobertura vegetal;
- 4) geração de situações críticas de instabilidade nas encostas pelo aporte concentrado de águas pluviais, como resultado direto das intervenções realizadas anteriormente e da ausência de sistemas de drenagem adequados às áreas de topografia acidentada;
- 5) cultivo de espécies vegetais que favorecem a instabilidade das encostas; construção de fossas que favorecem a infiltração das águas nas encostas; e
- 6) lançamento de lixo ou entulho nas encostas.

5.2 Movimentos de massa ocorridos em guarujá

Segundo estudo do IPT (2007), em Guarujá, os problemas de áreas de risco de escorregamentos na área urbana resultam principalmente do processo acelerado e sem adequação técnica de ocupação de encostas por núcleos habitacionais de baixo e médio padrão construtivo. As áreas de risco com maior grau de vulnerabilidade de ocorrência de acidentes são aquelas onde a ocupação se dá de forma precária, em terrenos de altíssima suscetibilidade natural a processos de movimentos de massa. O estudo do histórico de eventos recentes de movimentos de massa

ocorridos em Guarujá indica que a maioria dos movimentos de massa está relacionada aos processos de instabilização em cortes/aterros, seguidos dos processos de instabilização em encostas naturais.

Ainda, segundo o Relatório Técnico de apoio à prevenção e redução de riscos em assentamentos precários elaborado pelo IPT (2007) para o município, os principais tipos de processos de movimentos de massa são *i)* os escorregamentos induzidos em taludes de corte e aterro, *ii)* queda de blocos, *iii)* rolamento de matacões e deslocamento de lajes de rocha, *iv)* escorregamento em encostas naturais, *v)* as corridas de massa e *vi)* erosão.

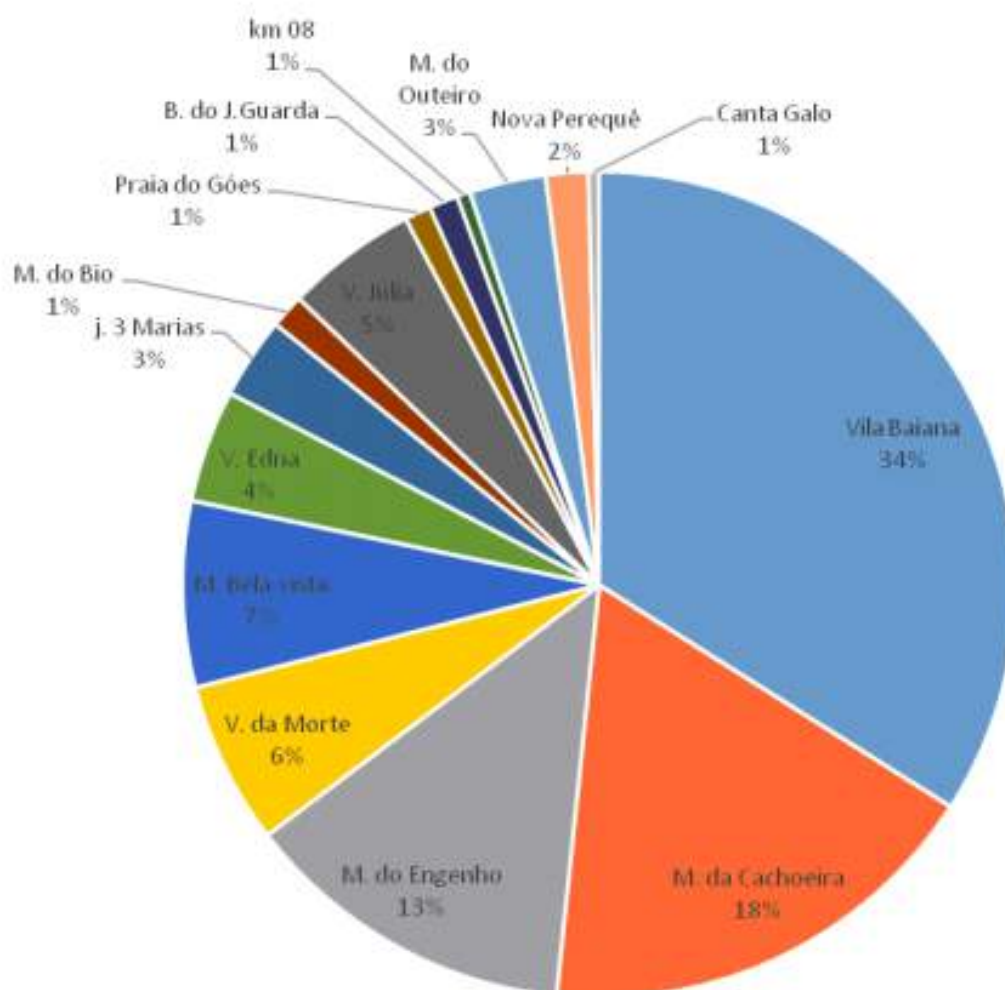
O trabalho de Miranda et al. (2018), apresentado para o 16º Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia Ambiental, relativo ao Plano Municipal de Redução de Risco (PMRR) do município de Guarujá, avaliou 17 áreas mapeadas, conjuntamente pelos técnicos da prefeitura, defesa civil, e do IPT, em situação de risco em graus diferenciados quanto à probabilidade de ocorrência de acidentes, resultando na delimitação de 14 setores de Risco Alto (R3), em uma escala de 1(R1) a 4(R4), consignando que “as áreas mais críticas aos processos de escorregamentos correspondem, na maioria dos casos, às de ocupação não consolidada cuja infraestrutura é precária, sem equacionamento de processos do meio físico perante as intervenções feitas pela ocupação.” (p. 9-10).

O gráfico 01 apresenta a porcentagem do histórico de deslizamentos por área de risco do município de Guarujá, frente um total de 1096 ocorrências registradas no período, conforme consta no relatório de 100 dias da Defesa Civil de Guarujá (2020). A partir desse gráfico, pode-se concluir que o número de ocorrências de deslizamentos no Jardim Bela Vista entre os anos de 1991 a 2019 foi de aproximadamente 77 (7%).

Gráfico 01: Histórico de escorregamentos em Guarujá/SP por área de risco.

ESCORREGAMENTOS EM GUARUJÁ 1991 - 2019

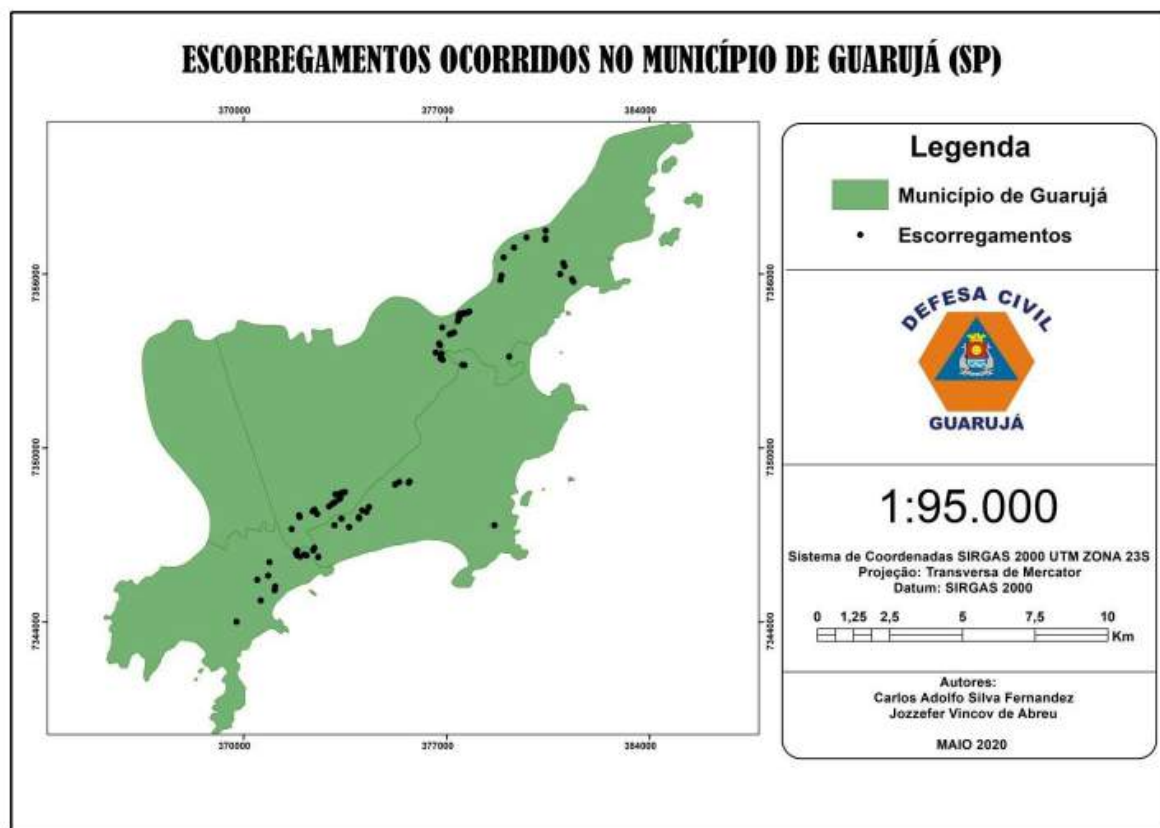
Fonte: COMPDEC Guarujá



Fonte: DEFESA CIVIL DE GUARUJÁ, 2020.

A figura 06, retirada do relatório da Defesa Civil de Guarujá de 2020, apresenta as áreas afetadas pelos movimentos de massa de março de 2020.

Figura 06: Imagem de Guarujá com pontos que destacam os movimentos de massa ocorridos em março/2020.



Fonte: DEFESA CIVIL DE GUARUJÁ, 2020.

6 ESTUDO DE CASO: JARDIM BELA VISTA

6.1 Localização e contexto

Conforme a Lei Complementar nº 156, de 20 de dezembro de 2013, que institui o Plano Diretor de Guarujá, o Jardim Bela Vista está localizado no Bairro Vila Zilda, situado dentro da Região Administrativa 4 do município. Está inserido em parte nas zonas de Recuperação Ambiental e de Preservação Ambiental da Macrozona de Proteção Ambiental e parte em zona de Recuperação Urbana da Macrozona Urbana. Esta área também é considerada Zona de Especial Interesse Social 1. Em termos de uso do solo, a área está inserida na Zona Mista - Vicente de Carvalho (ZMVC). Em termos de ocupação, está inserida na Zona de Baixa Densidade (ZBD) (GUARUJÁ, 2013). A figura 07 apresenta a delimitação aproximada da área.

Figura 07: Delimitação aproximada do Jardim Bela Vista, Guarujá/SP.



Fonte: Autoria própria, com base em imagens do Google Earth (2021).

6.1.1 Plano Municipal de Redução de Riscos

A Lei nº 12.608, de 2012, que institui a Política Nacional de Proteção e Defesa Civil (PNPDEC), estabelece como dever da União, Estados e Municípios a adoção de medidas voltadas

à redução de riscos de desastres⁷. Em Guarujá, o Plano Municipal de Redução de Riscos (PMRR) foi proposto pelo IPT em 2007, com suporte da Defesa Civil e de técnicos da Prefeitura Municipal, tendo sido atualizado em 2016, conforme consta nos documentos consultados (MIRANDOLA et al., 2018).

Os principais objetivos do PMRR são identificar, caracterizar e orientar a proposição de ações cujo intuito é reduzir os riscos relacionados a deslizamentos e solapamentos de margens, o que é feito por meio de mapeamento e caracterização dos riscos, com posterior proposição de intervenções estruturais e/ou não estruturais (MIRANDOLA et al., 2018).

Os procedimentos metodológicos do PMRR incluem investigações geológico-geotécnicas de superfície, registro das características dos setores mapeados, delimitação dos setores de risco, avaliação e definição, com validade de um ano, dos graus de risco de ocorrência de processos de instabilização, estimativa das consequências potenciais desses processos, indicação de alternativas de intervenção pertinentes a cada setor, estimativa de custos das intervenções e sistematização das informações (IPT, 2016).

O mapeamento de 2007 identificou 15 áreas de risco no município, sendo: Perequê; Nova Perequê; Morro do Bio; Canta Galo; Barreira do João Guarda; Vila Baiana; Jardim Três Marias; Vale da Morte; Vila Júlia; Jardim Bela Vista; Vila Edna; Morro do Engenho; Morro da Cachoeira; Morro do Outeiro e; Praia do Góes (IPT, 2007). No estudo de 2016, essas áreas foram mantidas e ainda foram acrescentadas outras duas: Sítio Cachoeira e Prainha Branca, totalizando 17 áreas de risco (IPT, 2016).

6.1.1.1 Aspectos ocupacionais

Conforme o Relatório Técnico nº 145679-205 do IPT, datado de 14 de fevereiro de 2016, a área está situada entre as ruas Ceará, Minas Gerais, São Pedro e da Paz, apresenta setores de baixa a média densidade populacional, é distante do centro e não possui infraestrutura básica. As residências apresentam padrão construtivo misto, de alvenaria e madeira (IPT, 2016). Segundo relatório da Diretoria de Proteção e Defesa Civil, o histórico de ocupação de determinadas partes da encosta inclui atividades de extração de saibro e utilização como depósito de lixo e, ainda, foi constatada uma cicatriz de deslizamento, justamente por onde veio a ocorrer o deslizamento de maior magnitude (DEFESA CIVIL DE GUARUJÁ, 2020).

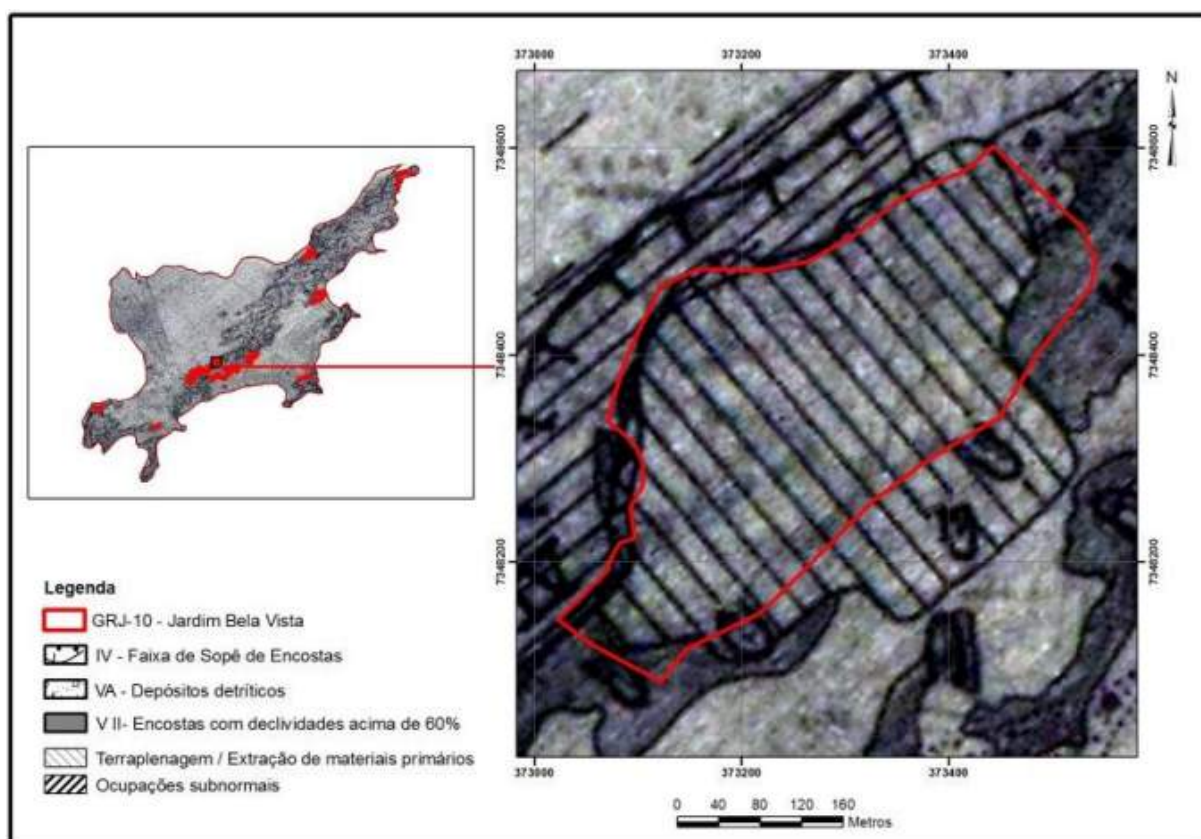
⁷ Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12608.htm. Acesso em 22 de janeiro de 2021.

Com relação à dominialidade da área, o Relatório da SEMAM-Guarujá⁸ (2020) aponta que a área era objeto de averbação no Cartório de Registro de Imóveis de Guarujá em caráter de Reserva Legal, pertencendo à Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), até o momento do evento.

6.1.1.2 Contexto geológico

A área está nas seguintes unidades da Carta Geotécnica: sopé de encostas (IV), depósitos detríticos (VA) e encostas com declividades acima de 60% (VII). A figura 08 apresenta a Carta Geotécnica ampliada de Guarujá/SP (IPT, 2016).

Figura 08: Carta Geotécnica ampliada de Guarujá/SP.



Fonte: IPT/IG, 1989 apud IPT, 2016.

Na unidade IV há blocos, em superfície e/ou em profundidade, envolvidos por sedimentos finos, podendo ocasionar deposição dos materiais deslizados desde a montante, recalque em fundações e dificultar a implementação de infraestrutura subterrânea (IPT, 2016).

Na unidade VA há depósitos detríticos compostos por blocos e fragmentos de rocha em matriz argilo-arenosa e areno-argilosa, situados no sopé ou em saliências e reentrâncias a meia

⁸ Secretaria Municipal de Meio Ambiente de Guarujá (SEMAM-Guarujá) (2020). Relatório preliminar dos impactos ambientais decorrentes da chuva intensa que atingiu o Guarujá no Início de março de 2020.

encosta, apresentando variações em espessura e extensão, podendo ocasionar o rolamento e a queda de blocos presentes na superfície; deslizamentos localizados por conta dos cortes e saturações de determinadas porções do terreno, podendo ou não envolver acúmulo de lixo; deslizamentos significativos por conta dos cortes na porção basal dos depósitos e/ou aumento considerável na infiltração de água e recalques diferenciais em fundações, e dificuldades na implementação de infraestrutura subterrânea e a poluição dos cursos d'água (IPT, 2016).

Na unidade VII, há ocorrência de encostas com declividade maior que 60%, que abrangem todos os tipos de rochas presentes no município, sendo predominantes as encostas retilíneas com cobertura de solo coluvionar rara, um solo de alteração geralmente pouco espesso, onde frequentemente ocorrem afloramentos rochosos, podendo ocasionar deslizamentos ligados a grotas ou cabeceiras de drenagem; deslizamentos de solo nas proximidades da região de contato entre o solo e a rocha; e queda de blocos, bem como deslizamentos induzidos por por descalçamento da encosta por conta das vias de acesso e das deficiências no sistema de drenagem (IPT, 2016).

Conforme dispõe o relatório da Diretoria de Proteção e Defesa Civil do município (2020):

As rochas presentes na região são formações ígneas e metamórficas do escudo cristalino, com idade pré-cambriana e fortemente afetadas pelo ciclo brasileiro; litologias na área compreendem migmatitos estromáticos, localmente passando a milonitos com marcante lineação de estiramento. O solo varia de pouco a muito desenvolvido, ocorrendo na Bela Vista, lagedos e taludes com rocha fraturada e em variados graus de alteração, ou em solo de alteração de rocha, com matações de rocha alterada a muito alterada e eventual presença de caulim. Os proeminentes sistemas de fraturamento presentes no maciço são elementos marcantes e estão sendo caracterizados pela equipe técnica da Defesa Civil, porém sabidamente podemos associar estes planos aos espessos pacotes de solo e presença de taludes com blocos rochosos instáveis (IPT, 2016 apud DEFESA CIVIL DE GUARUJÁ, 2020).

6.1.1.3 Critérios de classificação de risco

A classificação dos graus de risco foi realizada seguindo o modelo proposto por Macedo et al., em 2004. Neste modelo, as áreas são classificadas em quatro grupos de risco: risco baixo (R1); risco médio (R2); risco alto (R3); risco muito alto (R4). O quadro 07 apresenta os critérios geológico-geotécnicos utilizados para a determinação dos graus de risco (IPT, 2016).

Quadro 07: Critérios utilizados para determinação dos graus de probabilidade de ocorrência de processos de instabilização do tipo deslizamentos em encostas ocupadas e solapamento de margens de córregos.

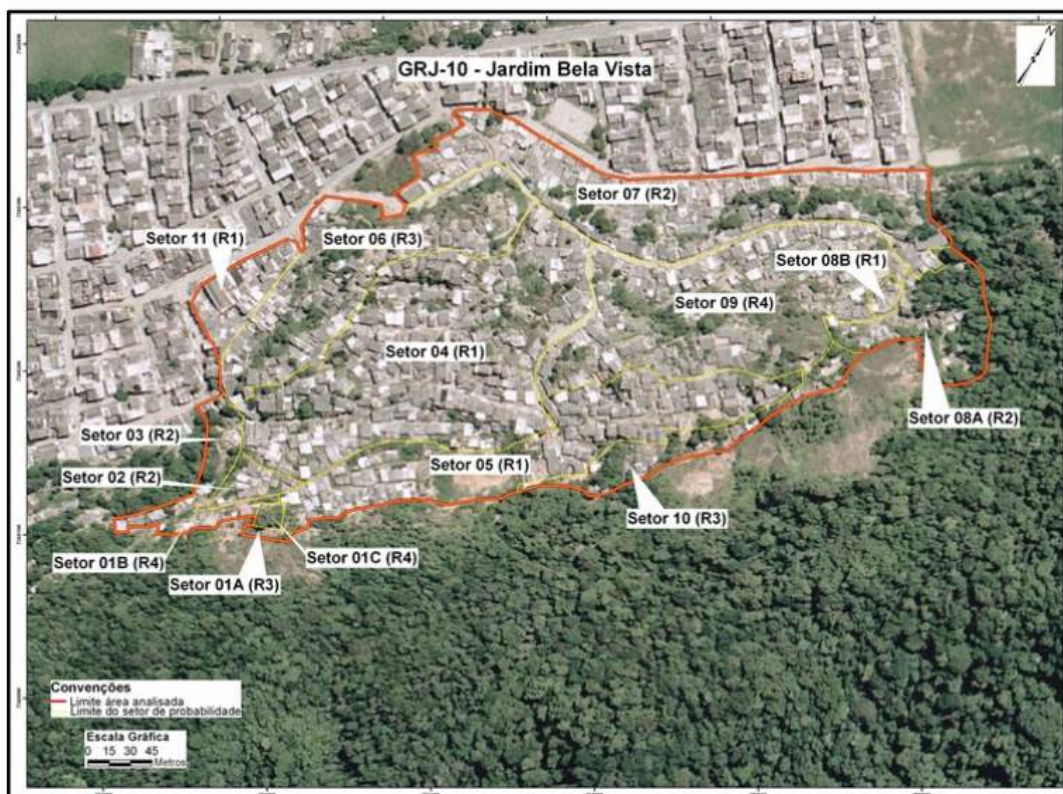
GRAU DE PROBABILIDADE	DESCRIÇÃO
R1 Baixo	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de BAIXA POTENCIALIDADE para o desenvolvimento de processos de deslizamentos e solapamentos. NÃO HÁ INDÍCIOS de desenvolvimento de processos de instabilização de encostas e de margens de drenagens. É a condição menos crítica. Mantidas as condições existentes, NÃO SE ESPERA a ocorrência de eventos destrutivos no período de 1 ano.
R2 Médio	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de MÉDIA POTENCIALIDADE para o desenvolvimento de processos de deslizamentos e solapamentos. Observa-se a presença de ALGUMA(S) EVIDÊNCIA(S) de instabilidade (encostas e margens de drenagens), porém incipiente(s). Mantidas as condições existentes, É REDUZIDA a possibilidade de ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de 1 ano.
R3 Alto	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de ALTA POTENCIALIDADE para o desenvolvimento de processos de deslizamentos e solapamentos. Observa-se a presença de SIGNIFICATIVA(S) EVIDÊNCIA(S) de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, etc.). Mantidas as condições existentes, é PERFEITAMENTE POSSÍVEL a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de 1 ano.
R4 Muito Alto	Os condicionantes geológico-geotécnicos predisponentes (declividade, tipo de terreno, etc.) e o nível de intervenção no setor são de MUITO ALTA POTENCIALIDADE para o desenvolvimento de processos de deslizamentos e solapamentos. As evidências de instabilidade (trincas no solo, degraus de abatimento em taludes, trincas em moradias ou em muros de contenção, árvores ou postes inclinados, cicatrizes de deslizamento, feições erosivas, proximidade da moradia em relação à margem de córregos, etc.) SÃO EXPRESSIVAS E ESTÃO PRESENTES EM GRANDE NÚMERO E/OU MAGNITUDE . É a condição mais crítica. Mantidas as condições existentes, é MUITO PROVÁVEL a ocorrência de eventos destrutivos durante episódios de chuvas intensas e prolongadas, no período de 1 ano.

Fonte: IPT, 2007.

6.1.1.4 Setores de risco e suscetibilidade a deslizamentos

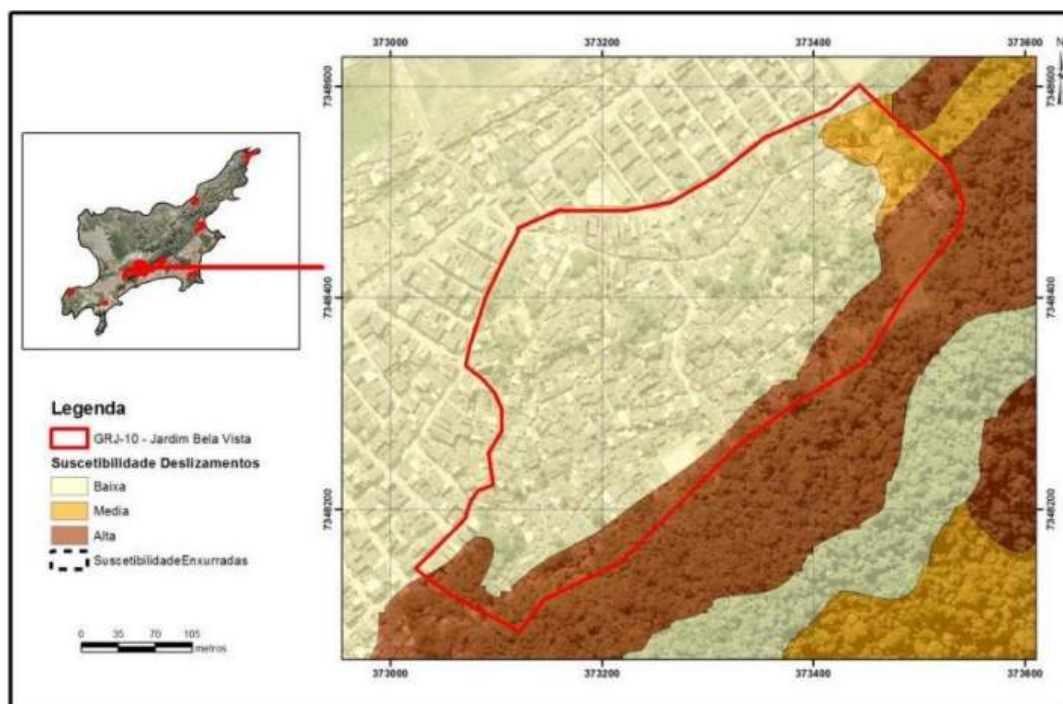
Foram identificadas 516 moradias em situação de risco no Jardim Bela Vista, tendo-se delimitado 14 setores de risco: 3 de muito alto (R4), 3 de alto (R3), 4 de médio (R2) e 4 de baixo (R1). Destas, 225 moradias estão em setor de alto risco (R3), segundo o IPT, em Relatório Técnico nº 148222-205, de 19 de agosto de 2016. A figura 09 apresenta os setores de risco mapeados e a figura 10 apresenta a suscetibilidade a deslizamentos, a partir da qual verifica-se que a maior parte das residências estão situadas em área de baixa suscetibilidade (IPT, 2016).

Figura 09: Setores de risco do Jardim Bela Vista - Guarujá/SP.



Fonte: IPT, 2016.

Figura 10: Suscetibilidade a deslizamentos e delimitação do Jardim Bela Vista - Guarujá/SP.



Fonte: IPT, 2016.

6.3 Caracterização dos movimentos de massa no Jardim Bela Vista

Segundo a Defesa Civil, o pluviômetro Manual E3-043 (DAEE) registrou um acumulado de 282,0 mm de chuva em 12 horas e, em diversas regiões do município, o evento meteorológico causou movimentos de massa que englobam a queda e o rolamento de blocos, deslizamentos de solo, incipiente fluxo de detritos e lama e também inundações, enchentes, alagamentos e queda de árvores e postes, dentre outros eventos secundários (DEFESA CIVIL DE GUARUJÁ, 2020).

Dentre os relatórios de vistoria elaborados em função dos atendimentos emergenciais para os deslizamentos contidos no Relatório da Defesa Civil, pode-se constatar 08 atinentes a localização do Jardim Bela Vista/Morro do Macaco Molhado, datados dos dias 03 e 08 de março e 22 de abril, do ano de 2020, constando o nome do morador, as condições das vias de acesso e itens a serem preenchidos referentes:

- i) à caracterização do local;
- ii) às condições relacionadas à água;
- iii) ao tipo de moradia;
- iv) se há vegetação no talude ou proximidades;
- v) à evidências de movimentação;
- vi) ao tipo de movimentação ocorrida; e
- vii) ao grau de risco.

As vias de acesso encontram-se, em geral, acessíveis, em vielas em solo, pavimentadas ou em cimento, rua em solo ou em cimento, e escadaria em cimento.

Em relação à caracterização do local foram observados pela Defesa Civil:

- taludes naturais de alturas de 50 metros;
- taludes de corte de alturas de 8, 9, 10, 12, 13 e 14 metros;
- alta declividade;
- estruturas em solo/rocha desfavoráveis à segurança;
- presença de blocos de rochas e matacões;

Não foram observados aterro compactado ou lançado, baixa declividade, estruturas em rocha/solo favoráveis à segurança, presença de paredões rochosos e lixo/entulho.

Em relação à água foi observada a concentração de água de chuva em superfície em todos os locais vistoriados do Jd. Bela Vista, e em somente um constatou-se vazamento de tubulação. Não foram constatados lançamento de água servida em superfície, presença de fossas, de rede de

esgoto e de rede de água, e surgências de água (minas d'água no talude/aterro) nos registros das ocorrências da Defesa Civil.

O tipo de moradia registrado foi predominantemente de alvenaria, seguido por mista e de madeira. Somente em um dos locais observou-se os três tipos de moradias. Em todos os locais foi constatada a presença de árvores nos taludes, não sendo registrada a presença de área desmatada ou área de cultivo.

No campo das evidências de movimentação, em todos os locais constatou-se a inclinação de árvores/postes/muros, bem como cicatrizes de escorregamentos. Somente em um local foram registrados degraus de abatimento. Em um dos locais, considerado de muito alto risco, registrou-se também trincas no terreno, trincas na moradia e feições erosivas. Em nenhum dos locais foram constatados muros ou paredes embarrigadas.

As figuras 11 e 12 apresentam comparações de imagens da região após e antes da ocorrência dos deslizamentos.

Figura 11: Comparação de imagens do local após e antes das movimentações de massa.



Fonte: SEMAM-GUARUJÁ, 2020.

Figura 12: Comparação de imagens do local após e antes das movimentações de massa.



Fonte: SEMAM-GUARUJÁ, 2020.

Os tipos de movimentação de massa registrados foram:

- Deslizamentos naturais;
- Deslizamentos de corte;
- Queda de blocos;
- Desplacamento rochoso.

Os deslizamentos registrados pela Defesa Civil no Jardim Bela Vista foram todos do tipo planar ou translacional. O deslizamento principal ocorreu na Rua da Paz às 23 horas e 40 minutos do dia 02 de março de 2020.

A figura 13 apresenta a representação esquemática feita pela Defesa Civil do escorregamento principal, apontando o sentido de movimento do material mobilizado.

Figura 13: Representação esquemática do escorregamento principal, apontando o sentido de movimento do material mobilizado.



Fonte: adaptado de DEFESA CIVIL DE GUARUJÁ, 2020.

Predominantemente, ocorreram deslizamentos de corte e queda de blocos, sendo que na área mais afetada registrou-se a ocorrência de deslizamento natural, de corte e deslocamento rochoso. O volume mobilizado variou entre 15 a 60 m³, sendo que o alcance a partir da base variou entre 5 e 20 m. Todavia, na área de maior impacto, o volume mobilizado foi de 50.000 m³, e o alcance a partir da base foi de 100 m.

O grau de risco registrado foi de muito alto risco na principal área afetada, e de risco alto nas demais áreas vistoriadas. Em geral, a Defesa Civil de Guarujá afirma que foram 04 deslizamentos maiores e em outros pontos localizados houveram deslizamentos de menor porte e/ou rolamento de blocos.

Na figura 14 abaixo verifica-se imagem aérea do deslizamento principal ocorrido na região do Jardim Bela Vista. Na imagem de cima, é possível observar uma Fenda de Tração (A) com diâmetro de aproximadamente 01 a 1,5 metros de profundidade, e aproximadamente 30 metros de comprimento, além do degrau de abatimento e árvores inclinadas e trincas no solo. Na imagem de baixo, é dado destaque para um possível fragmento afetado no caso de rompimento deste talude.

Figura 14: Imagem área do principal deslizamento ocorrido no Jardim Bela Vista, com destaque para a Fenda de Tração (A) e para um possível fragmento afetado no caso de rompimento do talude (B).



Fonte: DEFESA CIVIL DE GUARUJÁ, 2020.

6.3.1 Causa

O mecanismo que desencadeou os eventos foi a água. O evento pluviométrico aportou uma grande quantidade de água no sistema, agravando ainda mais o risco nas áreas previamente mapeadas. Ainda, segundo o Relatório da Defesa Civil de Guarujá o evento meteorológico foi tipificado com base no Código Brasileiro de Desastres (Cobrade) “na categoria de desastre Natural, grupo Meteorológico, subgrupo Tempestades, tipo Tempestade Local/Convectiva, subtipo Chuvas Intensas (13.214)” (DEFESA CIVIL DE GUARUJÁ, 2020).

Durante o evento pluviométrico, parte da água precipitada infiltra no solo, causando alteração na sua densidade, fazendo com que seu peso aumente e com que a coesão entre suas partículas diminua. Essa alteração no peso torna também as forças atuantes maiores, resultando em perda de resistência ao cisalhamento e à compressão (TATIZANA et al., 1987 apud ANTONELLI, 2018). Outro fator que causa a diminuição da resistência ao cisalhamento é a redução na pressão de sucção conforme a água infiltra no solo. A parcela de sucção desaparece quando a saturação do solo é completa, de modo que o lençol freático passa a gerar uma poropressão positiva (LI et al., 2005; AZEVEDO, 2011 apud ANTONELLI, 2018).

6.3.1.1 Índice Pluviométrico

No município de Guarujá, o acumulado de precipitação entre os dias 02 e 03 de março resultou no registro de 320 mm para um período de 24h, ultrapassando a média mensal de todo o mês de março, que é de 263 mm.⁹ No gráfico 02 é possível observar o acumulado registrado em diversas estações do Centro Nacional de Monitoramento e Alerta de Desastres Naturais (CEMADEN) em Guarujá/SP, nas horas que antecederam o acontecimento.

Gráfico 02: Dados obtidos a partir de estações pluviométricas do CEMADEN.



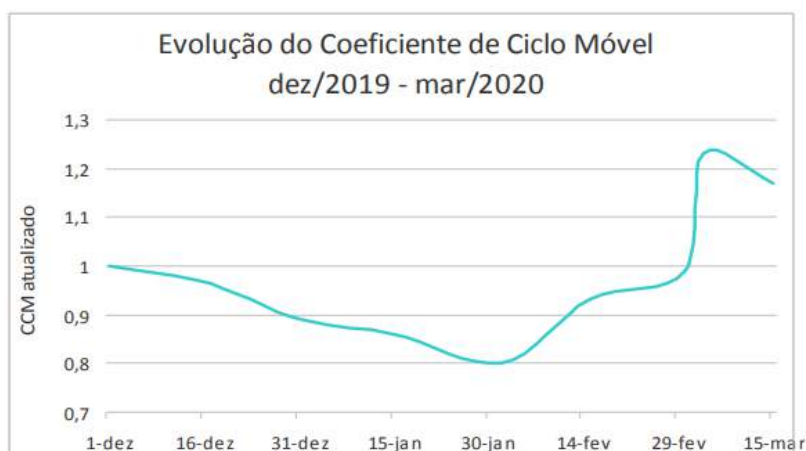
Fonte: DEFESA CIVIL DE GUARUJÁ, 2020.

⁹ Centro de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN). Disponível em: <http://www.cemaden.gov.br/wp-content/uploads/2020/03/Nota-de-Esclarecimento-Desastre-Baixada-Santista.pdf>. Acesso em 23 de janeiro de 2021.

Outro fator que pode ter contribuído foi a precipitação acumulada registrada no mês de fevereiro, que chegou a 405 mm (DEFESA CIVIL DE GUARUJÁ, 2020). Segundo o relatório da Defesa Civil, durante o Plano Preventivo de Defesa Civil (PPDC) 2019/2020, observou-se por meio de pluviômetro que houve uma evolução da curva de acumulado de chuva, iniciando dezembro com valores próximos da média, decrescendo ao longo do mês de janeiro e voltando a subir de forma gradual durante o mês de fevereiro, tendo chovido em 22 dos 29 dias daquele mês, ultrapassando a média no dia 02 de março de 2020. Conforme os dados das estações pluviométricas do CEMADEN, iniciou-se um evento pluviométrico extraordinário, com acumulados da ordem de 200,0 mm em 8 horas e uma intensidade que chegou a superar os 50,0 mm/h (DEFESA CIVIL DE GUARUJÁ, 2020).

O Coeficiente de Ciclo Móvel (CCM) representa a relação entre a chuva total no ano hidrológico e a média histórica para o período avaliado. No gráfico 03 é possível observar a curva de variação do CCM para o período entre 01 de dezembro de 2019 e 15 de março de 2020, considerando a média histórica dos últimos 30 anos.

Gráfico 03: Curva de variação do CCM.



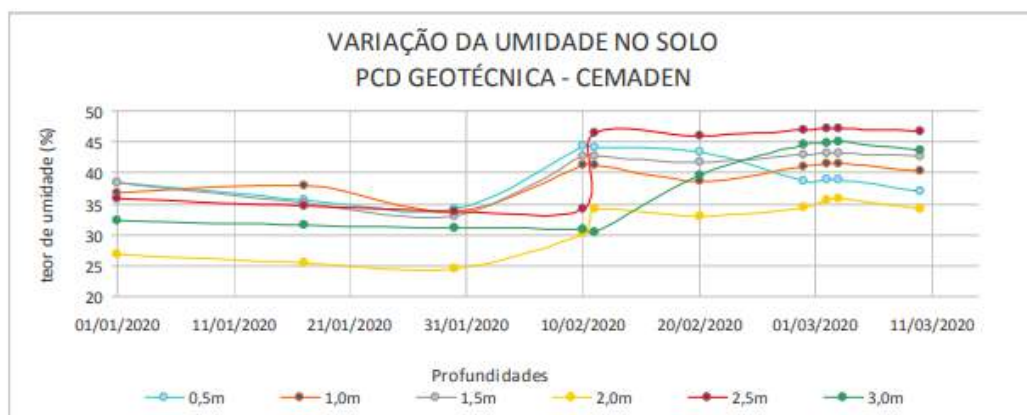
Fonte: DEFESA CIVIL DE GUARUJÁ, 2020.

Observa-se que a curva cai a partir do início do mês de dezembro, indicando a ocorrência de chuvas abaixo do esperado nos meses de dezembro e de janeiro, atingindo a marca de 0,8 no final de janeiro. A curva volta a subir em fevereiro, indicando a ocorrência de chuvas acima do esperado neste mês. Por fim, em virtude do evento meteorológico, a curva sobe abruptamente no início do mês de março, ultrapassando a marca de 1,2.

Por outro lado, o monitoramento do sensor de umidade do solo na estação geotécnica do CEMADEN Mirante da Enseada apontou para uma inflexão na curva de variação da umidade dos

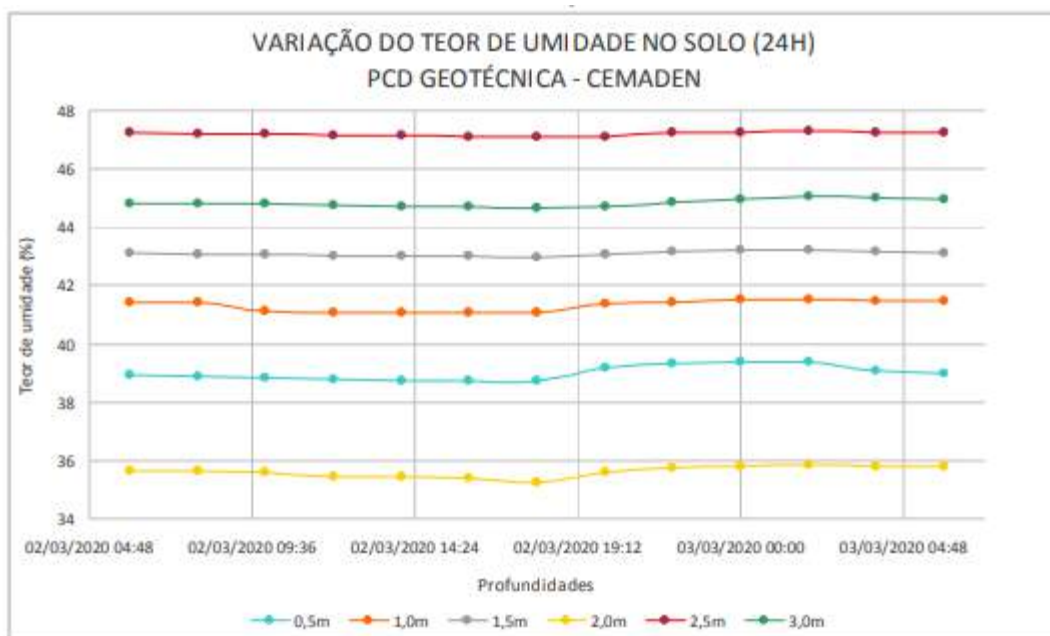
níveis mais profundos no dia 10 de fevereiro e não houve registro de variação expressiva no teor de umidade do solo durante as 24h em que ocorreram os movimentos de massa, conforme demonstram os gráficos 04 e 05 abaixo (DEFESA CIVIL DE GUARUJÁ, 2020).

Gráfico 04: Variação da umidade no solo entre o período de 01 de janeiro de 2020 a 11 de março de 2020 (dados obtidos pela estação geotécnica do CEMADEN).



Fonte: DEFESA CIVIL DE GUARUJÁ, 2020.

Gráfico 05: Variação do teor de umidade no solo durante um período de 24h (dados obtidos pela estação geotécnica do CEMADEN).



Fonte: DEFESA CIVIL DE GUARUJÁ, 2020.

6.3.1.2 Mudanças climáticas

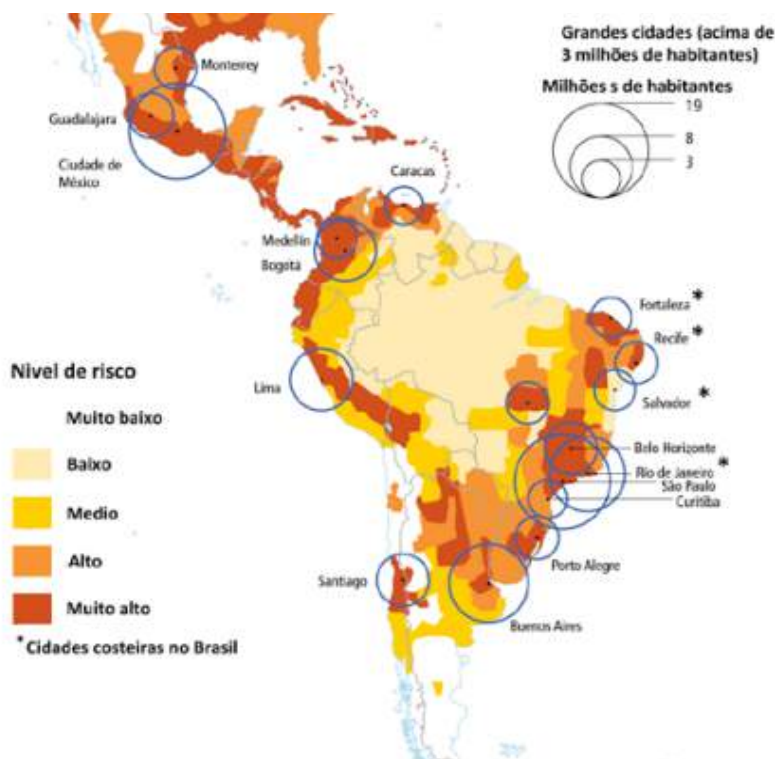
O presente item tem como objetivo elucidar a importância de que medidas voltadas para a elaboração de um Plano Municipal de Mudanças Climáticas (PMMC) sejam consideradas pela

gestão municipal, em consonância com o Plano Nacional de Adaptação à Mudança do Clima (PNA), que visa orientar iniciativas para a gestão e diminuição do risco climático no longo prazo.

Em que pese a abrangência da consideração não tenha sido objeto de análise pelos documentos estudados, as mudanças climáticas em curso expõem as cidades litorâneas ao aumento do nível do mar, à mudanças na frequência e intensidade de tempestades, e ao aumento na precipitação e na temperatura dos oceanos. O aumento na frequência e intensidade de eventos extremos de chuva aumenta o risco de deslizamentos de terra, enchentes e enxurradas, conforme expõe Relatório de Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades brasileiras às mudanças climáticas, do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas (PBMC, 2017) .

Neste contexto, expõe o mencionado relatório que, especialmente, as cidades costeiras brasileiras demandam investimentos e medidas de adaptação frente às mudanças climáticas, com foco na redução de riscos e minimização dos impactos ocasionados pelos eventos extremos climáticos e oceanográficos observados no respectivo relatório, que afirma que a frequência, intensidade e concentração de chuvas intensas têm aumentado nas últimas décadas no sudeste brasileiro. A figura 15 abaixo expõe o nível de risco e vulnerabilidade de grandes cidades da América Latina às mudanças climáticas, e depreende-se que o município de Guarujá encontra-se em zona de muito alto risco.

Figura 15: Risco e vulnerabilidade às mudanças climáticas das grandes cidades da América Latina.



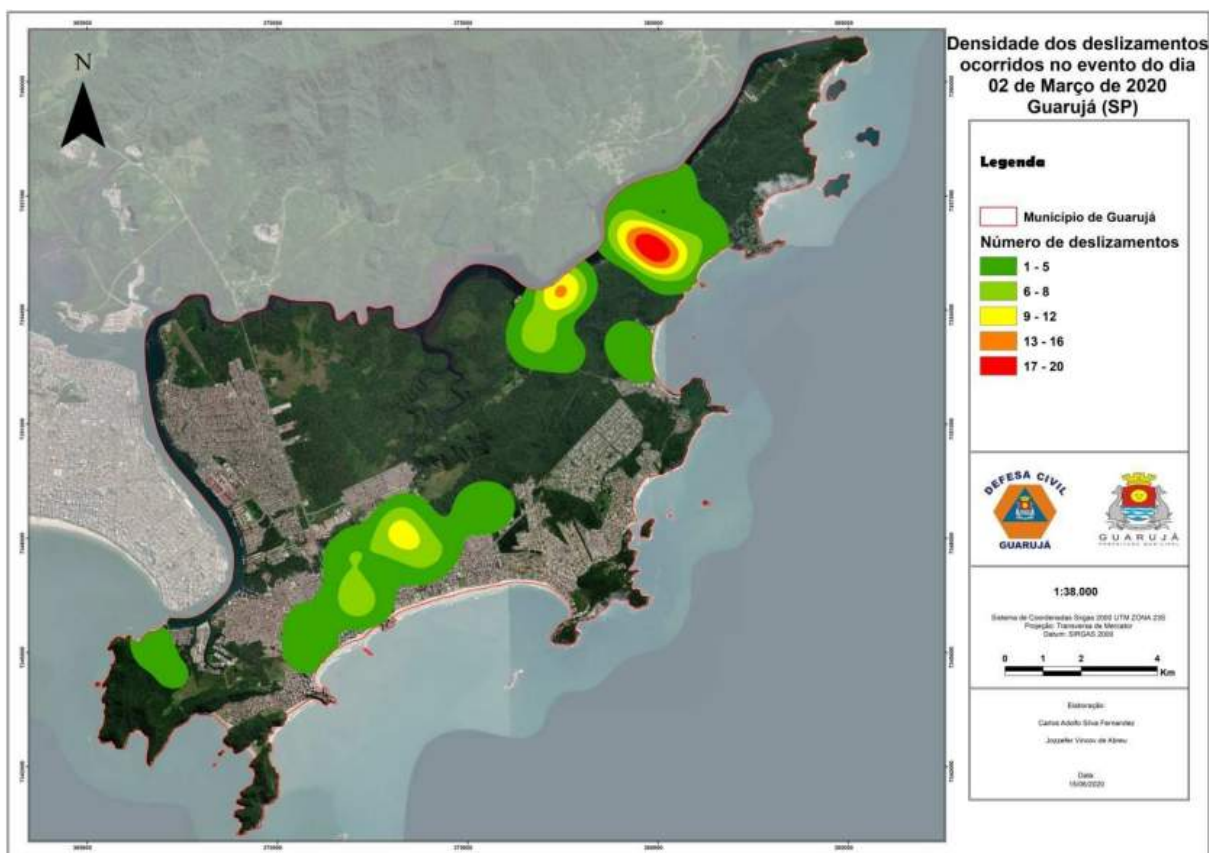
Fonte: PBMC, 2017.

6.3.2 Consequências

As intensas chuvas associadas às ocorrências de movimentos de massa levaram a decretação de Estado de Calamidade Pública (ECP), por meio do Decreto Municipal nº 13.529, de 2020, posteriormente homologado por Portaria Federal. A prefeitura de Guarujá mobilizou algumas de suas secretarias para criar o “Gabinete de Emergência”, dando início às medidas previstas no Plano de Contingências, envolvendo também a Coordenadoria Estadual de Proteção e Defesa Civil e a Secretaria Nacional de Proteção e Defesa Civil.

Em todo o município, os deslizamentos do dia 03 de março resultaram em 34 óbitos, 37 feridos, 169 residências destruídas e 954 danificadas. 100 dias após o ocorrido, 135 laudos geológicos de vistoria técnica haviam sido elaborados pela Defesa Civil (DEFESA CIVIL DE GUARUJÁ, 2020). A figura 16 apresenta o mapeamento da densidade de deslizamentos verificados pela Defesa Civil municipal.

Figura 16: Densidade dos deslizamentos ocorridos no evento no dia 02 de março de 2020 em Guarujá/SP.



Fonte: DEFESA CIVIL DE GUARUJÁ, 2020.

Segundo a Defesa Civil de Guarujá, no Morro da Bela Vista ocorreu um deslizamento por volta das 23h, e mais dois até às 2:00 h, consignando que a guarnição do Corpo de Bombeiros sofreu dois óbitos no local, causados por soterramento em deslizamento de solo e rocha. Na principal área afetada, que tem por via de acesso a Rua da Paz, o material mobilizado vitimou ao todo 09 pessoas e casas foram totalmente ou parcialmente danificadas. Houveram ainda mais 03 vítimas fatais em virtude dos outros deslizamentos no Jardim Bela Vista. Foram 39 casas destruídas no Jardim Bela Vista e na Vila Edna e 139 posteriormente interditadas em função das ações de resposta desenvolvidas pelas autoridades competentes. Outra consequência relatada foi o aumento localizado do risco em algumas encostas (DEFESA CIVIL DE GUARUJÁ, 2020).

6.4 Intervenções

O IPT (2016) prevê no PMRR de Guarujá intervenções estruturais relacionadas a serviços de limpeza e manutenção, proteção superficial da encosta, à drenagem superficial, de contenção de encostas, e de acerto na geometria do talude, de retaludamento, de melhoria nos acessos, de estabilização e proteção das margens dos córregos e de remoção de moradias. Como complementação, poderá ser sugerida a reurbanização parcial ou total da área afetada, analisados os pontos de vista técnico, econômico e social (IPT, 2007).

Como intervenções não-estruturais, prevê o PMRR de Guarujá, o mapeamento dos riscos, as ações de fiscalização e controle de riscos, atendimentos emergenciais, formação de Núcleos Comunitários de Prevenção e Defesa Civil (NUPDEC), a carta municipal de susceptibilidade a movimentos gravitacionais de massa e inundação e a carta geotécnica de aptidão à urbanização.

Nos eventos de março/2020, as ações de resposta integraram diversas Secretarias Municipais, as quais disponibilizaram pessoal para serviços como o de poda e remoção de vegetação, remoção de lixo e entulho e demolição de moradias atingidas ou em condição de risco, além do emprego de maquinário na adequação emergencial de terrenos e apoio ao resgate de vítimas. Ainda, foram realizados trabalhos de vistorias de campo e sobrevôo com drones a fim de apoiar as ações de interdições preventivas em áreas de risco geológico, com o apoio do IPT e do IG (DEFESA CIVIL DE GUARUJÁ, 2020).

6.4.1 A obra de contenção efetivada no Jardim Bela Vista

Diante desse contexto, a Secretaria de Estado do Desenvolvimento Regional aprovou a proposta da Prefeitura de Guarujá para aplicação de R\$ 25 milhões em obras de contenção de

encostas, e a região afetada da Bela Vista foi a prioridade definida pelo município. Com a aprovação dos recursos, que representaram 50% da verba destinada para a baixada santista pelo governo de São Paulo, a prefeitura de Guarujá procedeu aos trâmites administrativos e a contratação de empresa responsável pela execução das obras, dispensada a licitação em razão do estado de calamidade decretado pelo município¹⁰.

O Morro da Bela Vista precisou tornar-se uma área de interesse social para que as verbas fossem liberadas. Dessa forma, a extensão de 17.264,96 m², antes da SABESP, passou a fazer parte do território municipal. Estabelecida por meio do decreto nº 13.583, a medida foi publicada em 28 de março no Diário Oficial do Município. O prazo para a execução das intervenções era de 180 dias a partir da data do evento¹¹. A figura 17 abaixo apresenta uma aproximação dos limites da área onde foi realizada a intervenção.

Figura 17: Delimitação do local onde foi feita a obra de contenção.



Fonte: Autoria própria, com base em imagens do Google Earth, 2020.

¹⁰ Disponível em:

<https://www.guaruja.sp.gov.br/estado-aprova-r-25-milhoes-para-obras-de-contencao-no-morro-da-bela-vista/>. Acesso em 28 de janeiro de 2021.

¹¹ Disponível em: <https://www.guaruja.sp.gov.br/comecam-as-obras-de-contencao-no-morro-da-bela-vista/>. Acesso em 28 de janeiro de 2021

Iniciadas as obras pela empresa responsável, foram feitos serviços de sondagem, topografia, canteiro de obras e limpeza do terreno com uso de maquinários. A figura 18 abaixo apresenta uma notícia do Diário Oficial, datada de 28 de julho de 2020, do município de Guarujá a respeito do andamento das obras.

Figura 18: Recorte de notícia do Diário Oficial de Guarujá sobre o andamento da obra de contenção no Jardim Bela Vista.



Fonte: DIÁRIO OFICIAL DE GUARUJÁ, 2020.

Disponível em: <https://www.guaruja.sp.gov.br/edicoes-diario-oficial/>. Acesso em 31 de janeiro de 2021.

Conforme informações divulgadas pela Prefeitura Municipal, a primeira etapa, iniciada em maio, se deu com a remoção do material solto, como vegetação, pedras e terras e com a realização da topografia da região pelos técnicos responsáveis, limitando a área onde os serviços seriam executados e também a sondagem.

Com intuito de evitar novos movimentos de massa e em função da inclinação observada no morro, foram executados métodos para impermeabilização do solo, com a projeção de concreto na parte superior e a aplicação de tirantes de solo grampeado, estruturado com malha de ferro.

Para fixação do solo exposto, na parte inferior do morro foi aplicada a hidrossemeadura de grama, que é uma geomanta flexível tridimensional composta por sementes, fertilizantes, camada protetora, entre outros produtos. A técnica é utilizada para impedir o processo erosivo, geralmente causado pela ação da chuva e do vento e é aplicada por jato de alta pressão. Sua finalidade é tornar viável o crescimento de vegetação de porte baixo (gramíneas e leguminosas) para garantir a cobertura e a estabilização do solo.

Ainda, foi implantado um sistema de drenagem para a captação de água pluvial, com escadas de dissipação de energia, voltada para impedir que a água desça com maior velocidade¹². Os trabalhos de limpeza da área e a retirada de materiais oriundos do evento foram simultaneamente feitos durante o período de execução¹³. A figura 19 abaixo apresenta uma imagem aérea da obra de contenção realizada no Jd. Bela Vista.

Figura 19: Imagem aérea da obra de contenção concluída no Jardim Bela Vista.



Fonte: PREFEITURA MUNICIPAL DE GUARUJÁ, 2020.

Disponível em: <https://www.guaruja.sp.gov.br/concluidas-obras-de-contencao-no-morro-da-bela-vista/>. Acesso em 31 de janeiro de 2021.

¹² Disponível em: <https://www.guaruja.sp.gov.br/concluidas-obras-de-contencao-no-morro-da-bela-vista/>. Acesso em 29 de janeiro de 2021.

¹³ Disponível em: <https://d18xl8ggo6ud4h.cloudfront.net/wp-content/uploads/2020/07/28-07-2020-x3.pdf>. Acesso em 29 de janeiro de 2021.

7 CONCLUSÃO

O município de Guarujá, situado na região costeira do sudeste brasileiro, possui uma complexa estrutura de relevo e altos índices termopluiométricos, apresentando uma dinâmica geológica, geomorfológica e pedológica associada à ocorrência de processos naturais, como os movimentos de massa. Guarujá apresenta núcleos diversos de ocupações irregulares, com a presença de moradias instaladas em patamares de cortes e aterros realizados nas encostas, que levam à modificação das condições de estabilidade local, sujeitando parte da população a eventos de movimentos gravitacionais de massa. O histórico de eventos de movimentos de massa ocorridos em Guarujá demonstra que a maioria está relacionada aos processos de instabilização em cortes/aterros, seguidos dos processos de instabilização em encostas naturais. Guarujá possui um PMRR e o Jardim Bela Vista inclui-se dentre as áreas de risco mapeadas.

No evento de março/2020, as chuvas foram o principal agente deflagrador dos movimentos de massa. A Defesa Civil de Guarujá registrou 08 ocorrências na área do Jd. Bela Vista, em áreas de alto risco, e somente uma de muito alto risco, com moradias de alvenaria, de madeira e mista, em locais caracterizados pela presença de taludes naturais, e de corte, alta declividade, estruturas de solo/rocha desfavoráveis à segurança, além da presença de blocos e matacões, onde constatou-se a presença de água de superfície em todos os locais vistoriados do Jd. Bela Vista. Os movimentos de massa ocorridos enquadram-se em deslizamentos/escorregamentos e quedas (blocos/rochas), sendo os deslizamentos predominantemente planares/translacionais, não tendo sido especificadas pela Defesa Civil as velocidades de deslocamento dos movimentos ocorridos. O evento resultou em óbitos, ferimentos, e residências danificadas total ou parcialmente, entre outros.

Portanto, fatores naturais ligados à própria dinâmica das encostas e intervenções antrópicas levaram à deflagração dos movimentos de massa no município de Guarujá/SP, conforme apontado pela maior parte da literatura abordada.

A obra de contenção efetuada no Jd. Bela Vista abarcou a limpeza do terreno, proteção superficial, impermeabilização e estabilização do solo e sistema de drenagem pluvial. Observa-se que, quanto às intervenções não estruturais, Guarujá decretou o ECP e possui um PMRR, além de documentos técnicos elaborados pela Defesa Civil e por determinadas secretarias municipais.

Ademais, aponta-se a necessidade de que eventos dessa magnitude sejam compreendidos e tratados para além do nível local de setorização de risco e proposição de intervenção estrutural em área afetada, com investimentos e medidas de maior abrangência voltados para a prevenção de eventos extremos causados por decorrência das mudanças climáticas.

REFERÊNCIAS

- AMARAL, A. M. C. **Análise Estatística da precipitação relacionada à ocorrência de Movimentos de Massa em Cubatão, SP.** Tese (Doutorado em Geociências e Meio Ambiente) - Universidade Estadual Paulista (Unesp), Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 2018. 105. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/handle/11449/158321>. Acesso em 06 de janeiro de 2021.
- ANTONELLI, T. **Análise dos processos deflagradores de movimentos gravitacionais de massa com ênfase para a relação chuva x deslizamentos para o município de Baixo Guandu - ES, Brasil.** Dissertação (Mestrado em Geociências). São Paulo: Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, 2018. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44141/tde-06122018-150055/publico/Dissertacao_Mestrado_Tiago_Antonelli_VERSAO_FINAL.pdf. Acesso em 11 de janeiro de 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 6118:** Projeto de estruturas de concreto. Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 2003.
- BIGARELLA, J. J.; PASSOS, E. **Estrutura e origem das paisagens tropicais e subtropicais.** Florianópolis: Ed. Da UFSC, v. 3, 2003. p.877-1436.
- CARVALHO, C. S.; GALVÃO, T. Prevenção de riscos de deslizamentos em encostas em áreas urbanas. In: MORAIS, M. P.; KRAUSE, C.; NETO, V. C. L. (ED(s)). **Caracterização e tipologia de assentamentos precários:** estudos de casos brasileiros. Brasília: IPEA, 2016. Cap. 7, p. 169-185. Disponível em: https://www.ipea.gov.br/portal/index.php?option=com_content&view=article&id=28182. Acesso em 27 de janeiro de 2021.
- CASTRO, J. M. G. **Pluviosidade e movimentos de massa nas encostas de Ouro Preto.** Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Civil). Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2006. 138 p. Disponível em: https://repositorio.ufop.br/bitstream/123456789/2737/1/DISSERTA%c3%87%c3%83O_PluviosidadeMovimentoMassa.PDF. Acesso em 02 de janeiro de 2021.
- FERNANDES, Gilberto. **Caracterização geológico-geotécnica e propostas de estabilização da encosta do Morro do Curral.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2000. 153 p. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/38651/000823713.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 01 de fevereiro de 2021.
- FERNANDES, N. F.; GUIMARÃES, R. F.; GOMES, R. A. T.; VIEIRA, B. C.; MONTGOMERY, D. R.; GREENBERG, H. **Condicionantes geomorfológicos dos deslizamentos nas encostas: avaliação de metodologias e aplicação de modelo de previsão de áreas susceptíveis.** Revista Brasileira de Geomorfologia, v. 2, p. 51-71, 2001. Disponível em: <http://www.lsie.unb.br/rbg/index.php/rbg/article/view/8>. Acesso em 02 de janeiro de 2021.
- FERREIRA, S. B.; LANA, M. S.; CONTE JR., A. A.; LEITE, L. F. **Movimentos em encostas de Ouro Preto, MG - o caso da Vila São José.** Rev. Esc. Minas vol.57 no.4 Ouro Preto Oct./Dec. 2004. p. 235-240 Disponível em: <https://www.scielo.br/pdf/rem/v57n4/v57n4a04.pdf>. Acesso em 06 de janeiro de 2021.

GERHARDT, T. E.; SILVEIRA, D. T. **Métodos de pesquisa**. Porto Alegre: Editora da UFRGS, 2009. 120p. Disponível em: <<http://www.ufrgs.br/cursopgdr/downloadsSerie/derad005.pdf>>. Acesso em 20 de novembro de 2020.

GIGLIOTTI, M. S.; OLIVEIRA, R. C.; BACCI, P. H. M. **Compartimentação geomorfológica da Região Metropolitana da Baixada Santista - SP a partir do uso de imagens LANDSAT 7 ETM+**. VII Simpósio Nacional de Geomorfologia, 7, II Encontro Latino-Americano de Geomorfologia, Vol. 1, pp.76-90, Belo Horizonte, MG, Brasil, 2008. Disponível em: <http://lsie.unb.br/ugb/sinageo/7/0249.pdf>. Acesso em 11 de janeiro de 2021.

GUARUJÁ. **Evento de 02 de março de 2020: 4 áreas de risco geológico mais afetadas por deslizamentos em Guarujá (SP)**. Relatório. 2020. São Paulo: Prefeitura do Município de Guarujá - Secretaria de Defesa e Convivência Social - Diretoria de Proteção e Defesa Civil.

GUARUJÁ. **Evento de 02 de março de 2020: Áreas de risco geológico afetadas por deslizamentos em Guarujá (SP)**. Relatório de 100 dias. 2020. São Paulo: Prefeitura do Município de Guarujá - Secretaria de Defesa e Convivência Social - Diretoria de Proteção e Defesa Civil.

GUARUJÁ. **Lei Complementar 156 de 20 de dezembro de 2013**: Institui o Plano Diretor do Município de Guarujá e dá outras providências. 2013. São Paulo: Prefeitura do Município de Guarujá.

GUARUJÁ. **Plano Diretor de Macrodrenagem do Município de Guarujá**. Volume I. 2012. São Paulo: Prefeitura do Município de Guarujá.

GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. S. **Geomorfologia Ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006.

GUIMARÃES, R. F. et al. **Movimentos de Massa**. In: FLORENZANO, T. G. Geomorfologia: conceitos e tecnologias atuais. São Paulo: Oficina de Textos, 2008. Cap. 6, p. 159 – 184.

HIGHLAND, L. M.; BOBROWSKY, P. **O Manual de deslizamento** – Um Guia para a Compreensão de Deslizamentos. Reston, Virginia, US Geological Survey Circular, 2008.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Panorama geral de Guarujá**. 2021. Disponível em: <https://cidades.ibge.gov.br/brasil/sp/guaruja/panorama>. Acesso em 12 de janeiro de 2021

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Apoio à prevenção e redução de risco em assentamentos precários: definição dos processos do meio físico e reavaliação do mapeamento de risco no município de Guarujá (SP)**. São Paulo. Relatório Técnico nº 93.132 - 205. 2007.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Atualização do Plano Municipal de Redução de Riscos de Deslizamentos para o município de Guarujá**. São Paulo. Relatório Técnico nº 148222-205. 2016.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Atualização do Plano Municipal de Redução de Riscos de Deslizamentos para o município de Guarujá - Relatório Parcial Etapa I**. São Paulo. Relatório Técnico nº 145679-205. 2016.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). **Estudos Técnicos para a criação de Unidade de Conservação (UC) na Serra de Santo Amaro, Guarujá-SP.** São Paulo. Relatório Técnico-Parcial nº 159 752-205. 2020.

LOURENÇO, L.; LEMOS, L. J. L. **Considerações acerca da movimentação em massa ocorrida na vertente poente da Av^a. Elísio de Moura, em Coimbra.** Territorium, Minerva, Coimbra, n. 08, 2001. p. 93-109. Disponível em: <https://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=5773237>. Acesso em 02 de janeiro de 2021.

MACHADO, A. X.; MENDES, L. C. **Durabilidade e vida útil de estruturas de contenção de encostas situadas na cidade do Rio de Janeiro.** Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas, 7, Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: http://www.abpe.org.br/trabalhos/trab_84.pdf. Acesso em 04 de janeiro de 2021.

MINISTÉRIO DO MEIO AMBIENTE (MMA). **Vulnerabilidade ambiental:** desastres naturais ou fenômenos induzidos. Brasília: MMA, 2007. 192 p. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/proclima/2007/05/23/vulnerabilidade-ambiental-desastres-naturais-ou-fenomenos-induzidos/>. Acesso em 15 de janeiro de 2021.

MIRANDOLA, F. A.; CORSI, A. C.; MACEDO, E. S.; SILVA, M. P. P. G.. **Plano municipal de redução de risco no município de Guarujá.** In: Congresso Brasileiro de Geologia de Engenharia Ambiental, 16., São Paulo. Anais (online). 2018. Disponível em: http://www.schenautomacao.com.br/cbge/envio/files/trabalho_210.pdf. Acesso em 14 de janeiro de 2021.

PAINEL BRASILEIRO DE MUDANÇAS CLIMÁTICAS (PBMC). **Impacto, vulnerabilidade e adaptação das cidades costeiras brasileiras às mudanças climáticas:** Relatório Especial do Painel Brasileiro de Mudanças Climáticas [Marengo, J.A., Scarano, F.R. (Eds.)]. PBMC, COPPE - UFRJ. Rio de Janeiro, Brasil. 2016. p. 184. Disponível em: <https://www.infraestruturameioambiente.sp.gov.br/institutogeologico/2017/06/relatorio-impacto-vulnerabilidade-e-adaptacao-das-cidades-costeiras-brasileiras-as-mudancas-climaticas-tem-participacao-de-pesquisadora-do-instituto-geologico/>. Acesso em 02 de fevereiro de 2021.

PARIZZI, M. G.; SEBASTIÃO, C. S.; VIANA, C. DE S.; PFLUEGER, M. DE C.; CAMPOS, L. DE C.; CAJAZEIRO, J. M. D.; TOMICH, R. S.; GUIMARÃES, R. N.; ABREU, M. L. DE; SOBREIRA, F. G.; REIS, R. DOS. **Correlações entre chuvas e movimentos de massa no município de Belo Horizonte, MG.** Revista Geografias, 49–68. 2010. Disponível em: <https://periodicos.ufmg.br/index.php/geografias/article/view/13296>. Acesso em 28 de dezembro de 2020.

PINTO, R. C.; PASSOS, E.; CANEPARO, S. C. **Classificação dos movimentos de massa ocorridos em março de 2011 na Serra da Prata, Estado do Paraná.** Geingá: Revista do Programa de Pós-Graduação em Geografia, v. 4, n. 1, Maringá, 2012. p. 3-27. Disponível em: https://site.mppr.mp.br/arquivos/File/bacias_hidrograficas/3_Doutrina/Artigo_Ambiental_Serra_Prata_Floresta_Desmoronamento.pdf. Acesso em 09 de janeiro de 2021.

PINTO, Y. M. A. **Responsabilidade do perito em atendimentos de acidentes em áreas de risco de deslizamento: impossibilidade de invocação do caso fortuito como sua excludente.** Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental). Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo. Área de Concentração: Gestão Ambiental. 2009. 113 p. Disponível em:

http://cassiopea.ipt.br/teses/2009_TA_Yoko_Miyazono_Alves_Pinto.pdf. Acesso em 23 de janeiro de 2021.

RECKZIEL, E. W. **Identificação e mapeamento das áreas com perigo de movimento de massa no município de Porto Alegre, RS**. Dissertação (Mestrado em Geografia). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Geociências. Programa de Pós-Graduação em Geografia, Porto Alegre, RS, 2012. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/38651/000823713.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em 04 de janeiro de 2021.

RIFFEL, E. S.; GUASSELLI, L. A.; BRESSANI, L. A. **Desastres associados a movimentos de massa: uma revisão de literatura**. Boletim Goiano de Geografia, Goiânia, v. 36, n. 2, 2016, p. 285-306. Disponível em: <https://revistas.ufg.br/bgg/article/view/42796>. Acesso em 10 de janeiro de 2021.

SILVA, E. L. da. MENEZES, E. M. **Metodologia da pesquisa e elaboração de dissertação**. 4. ed. rev. atual. Florianópolis: UFSC, 2005.

SILVA, N. L. de L. **Correlação entre pluviosidade e movimentos gravitacionais de massa no Alto Ribeirão do Carmo/MG**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Geotécnica). Programa de Pós-Graduação em Geotecnia da Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, MG. 2014. Disponível em: <https://www.repositorio.ufop.br/handle/123456789/6029>. Acesso em 10 de janeiro de 2021.

TOMINAGA, L. K.; SANTORO, J.; DO AMARAL, R. **Desastres naturais: conhecer para prevenir**. 3 ed. Instituto geológico, São Paulo, SP, 2009. Disponível em: http://www.sidec.sp.gov.br/defesacivil/media/OSDownloads/1438375861_DesastresNaturais.pdf. Acesso em 31 de janeiro de 2021.